

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta ochrany životního prostředí v průmyslu

Analýza dat z imisního monitoringu Ostrava-Radvanice
The Ostrava-Radvanice air pollution monitoring data analysis

Autor: Bc. Ondřej Kořenek

Vedoucí práce: RNDr. Jan Bitta, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Kořenek**

Studijní program: N3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: 2805T019 Chemické a environmentální inženýrství

Téma: **Analýza dat z imisního monitoringu Ostrava-Radvanice**
The Ostrava-Radvanice air pollution monitoring data analysis

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Statistické vlastnosti data z imisního monitoringu
2. Časová závislost chování imisí
3. Závislost imisí na proudění vzduchu
4. Odhad hlavních původců znečištění pomocí faktorové analýzy

Seznam doporučené odborné literatury:


1. OBROUČKA, K. *Látky znečišťující ovzduší*. VŠB-TU Ostrava, 2001. 80-248-0011-X.
2. BLAŽEK, Z. *Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy*. Praha: ČHMÚ, 2013. 978-80-87577-15-8.
3. *Air Toxics analysis workbook*. Research Triangle Park, NC: US EPA, 2009. Dostupná na: http://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/workbook/T-Workbook_Secs1-8.pdf
4. EPA Positive Matrix Factorization 5.0 Fundamentals and User Guide. Research Triangle Park, NC: US EPA, 2014. Dostupná na: <https://www.epa.gov/air-research/epa-positive-matrix-factorization-50-fundamentals-and-user-guide>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Jan Bitta, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování diplomové práce

I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah DP |
| 2. Originál zadání DP | 7. Textová část DP |
| 3. Zásady pro vypracování DP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání DP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za originálem zadání DP. („Zásady pro vypracování diplomové práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah DP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

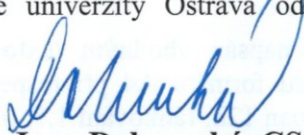
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení DP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování diplomové práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem magisterského, resp. navazujícího magisterského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava


PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 7.5.2018


podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu RNDr. Janu Bittovi, Ph.D., za připomínky, čas a cenné rady při konzultacích diplomové práce.

Anotace

Cílem této diplomové práce je určit za pomoci základních statických metod, jak se mění koncentrace znečišťujících látek (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyrenu) v závislosti na časovém období, směru větru a týdenním chodu. Dále se zabývá, jakým způsobem se podílí jednotlivé zdroje znečištění na celkových koncentracích znečišťujících látek na imisní stanici Ostrava - Radvanice. V teoretické části jsou uvedeny informace o vlastnostech jednotlivých látek. Praktická část se zabývá popisem jednotlivých analýz znečišťujících látek, PCA a PMF analýzami pro roky 2010, 2013 a 2016.

Klíčová slova: Znečišťující látky, časové chování znečišťujících látek, PCA, PMF

Annotation

The task of this work is using the basic of statistical methods determine the dependence of the concentration pollutants (PM_{10} , NO_2 , benzo(a)pyren) for the time period, wind direction and weekly run. It also deals with how the individual sources of pollution contribute to the total concentrations of pollutants at the Ostrava - Radvanice air pollution control station. The theoretical part provides information on the properties of individual substances. The practical part deals with the description of individual analyzes of pollutants, PCA and PMF analyzes for the years 2010, 2013 and 2016.

Key words: pollutants, temporal behavior of concentrations, PCA, PMF

Obsah

Úvod	1
1 Ovězduší.....	2
2 Proces znečištění atmosféry.....	3
2.1 Rozdělení znečišťujících látek	4
2.2 Zdroje znečišťujících látek	6
2.3 Způsob měření znečišťujících látek	7
2.3.1 Imisní monitorovací síť	8
3.3.2 Typy stanic	9
2.4 Tuhé znečišťující látky	10
2.5 Suspendované prachové částice (PM _x)	10
2.5.1 Příčina vzniku.....	11
2.5.2 Vliv na životní prostředí.....	11
3.5.3 Vliv na lidský organismus.....	11
2.6 NO _x	12
2.6.1 Zdroje NO _x	12
2.6.2 Vliv na zdraví člověka.....	13
2.7 Polyaromatické uhlovodíky	13
2.7.1 Zdroje emisí.....	13
2.7.2 Dopady na životní prostředí a zdraví člověka.....	14
2.7.3 Imisní limity PAU	14
2.8 Rozptyl znečišťujících látek v ovzduší	14
2.8.1 Vítr	15
2.8.2 Teplota.....	15
3 Legislativa ovzduší.....	16
4 Vícerozměrná analýza	17
4.1 Analýza hlavních komponent (PCA).....	18

4.2 UNMIX	18
4.3 Positive Matrix Factorization (PMF)	19
5 Imisní monitorovací stanice Ostrava – Radvanice ZÚ	20
6 Způsob řešení	21
6.1 Statistické chování koncentrací znečišťujících látek	21
6.2 Postup analýz	22
7 Analýza koncentrací PM ₁₀	24
7.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací PM ₁₀	24
7.2 Analýza týdenního chodu koncentrací PM ₁₀	26
7.3 Analýza závislosti koncentrací PM ₁₀ na směru větru	28
7.4 Výsledky korelace PM ₁₀	29
7.5 Diskuse analýz PM ₁₀	29
8 Analýza koncentrací NO ₂	31
8.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací NO ₂	31
8.2 Analýza týdenního chodu koncentrací NO ₂	33
8.3 Analýza závislosti koncentrací NO ₂ na směru větru	34
8.4 Diskuse analýz NO ₂	35
9 Analýza koncentrací benzo(a)pyrenu	37
9.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací benzo(a)pyrenu	37
9.2 Analýza týdenního chodu koncentrací benzo(a)pyrenu	39
9.3 Analýza závislosti koncentrací benzo(a)pyrenu na směru větru	40
9.4 Diskuse analýz benzo(a)pyrenu	41
10 Výsledky analýzy hlavních komponent	43
10.1 Výsledek PCA za rok 2010	43
10.2 Výsledek PCA za rok 2013	45
10.3 Výsledek PCA za rok 2016	47
11 Výsledky analýz PMF	49

11.1 Výsledek PMF analýzy pro rok 2010	49
11.2 Výsledek PMF pro rok 2013.....	53
11.3 Výsledek PMF pro rok 2016.....	57
11.4 Diskuse výsledků PMF	61
Závěr.....	62
Seznam použitých zdrojů.....	64
Seznam obrázků.....	68
Seznam grafů	69
Seznam tabulek.....	70
Seznam zkratk.....	71

Úvod

Jedním z největších problémů dnešní doby, který se řeší celosvětově, je znečišťování ovzduší. Jednotlivé znečišťující látky, jenž se uvolňují do atmosféry, pocházejí z přirozených nebo antropogenních zdrojů. Mezi přirozené zdroje se řadí vulkanická činnost, požáry lesních porostů, atd. Z Antropogenních zdrojů vznikají látky lidskou činností, jako jsou doprava, průmysl, výroba tepla, zemědělství a jiné. [2]

V České republice je nejvíce zasaženou oblastí Moravskoslezský kraj, z důvodů rozsáhlé průmyslové činnosti a dosti velkou obydlenu plochou. V tomto kraji jsou překračovány hodnoty imisních limitů.

Hlavními úkoly mé diplomové práce je určit s využitím statistických metod chování koncentrací znečišťujících látek (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyrenu) v závislosti na dlouhodobých trendech, dnech v týdnu a na směru větru. Dále budou provedeny analýzy hlavních komponent (PCA) a PMF.

Při analýzách bude využito dat z imisní monitorovací stanice Ostrava – Radvanice v období od roku 2005 až do roku 2016. Stanice je umístěna v Ostravě, přesněji v části Radvanice. Je zajímavou stanicí pro analýzu, z důvodu blízkého velkého průmyslového zdroje ArcelorMittalu, díky tomu je na stanici měřeno velké množství látek, jako jsou polyaromatické uhlovodíky (PAU), těžké kovy a jiné. To umožňuje provedení PMF analýzy, kterou lze určit, jakým způsobem se podílejí jednotlivé zdroje na celkových koncentracích znečišťujících látek.

1 Ovzduší

Jedná se o ochrannou vrstvu okolo zemského povrchu, která zajišťuje existenci života. Důležitá je z toho důvodu, že ochraňuje organismy před nežádoucími účinky dopadajícího slunečního záření. [6] U Slunečního záření je pohlcováno elektromagnetické záření v rozmezí krátkých vlnových vln. [1] Kromě toho je část záření odrážena zpět do vesmíru. Infračervené záření je částečně vyzářeno a tím ustaluje teplotu na zemi a brání značným teplotním rozdílům.

Atmosféru tvoří vzduch a různé typy plynů. Dominantní jsou tři typy plynů:

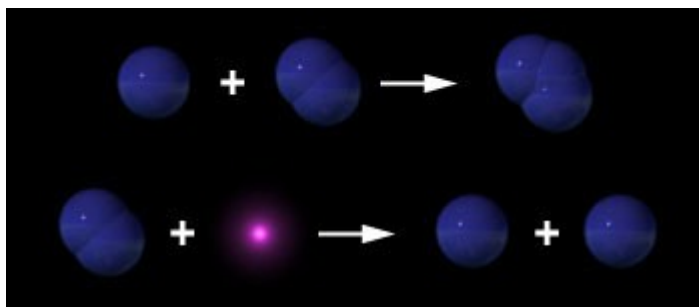
- Dusík (78%)
- Kyslík (21%)
- Argon (0,93%) [11]

Kromě těchto plynů se atmosféra skládá i z jiných, jejichž složení se ovšem mění. Jedná se o CO₂ (oxid uhličitý), Ne, He, CH₄ (methan), H₂ a jiné. Dalším důležitým parametrem, jak rozdělit atmosféru, je v závislosti na změně teploty, tzv. Vertikálnímu rozdělení na: Troposféru, tropopauzu, stratosféru, mezosféru, termosféru a exosféru. [1]

Troposféra se skládá ze 2 částí: planetární a volné. Planetární se nachází v blízkosti zemské kůry. Výše se nachází volná, pro niž je charakteristický záporný teplotní gradient. V troposféře je obsaženo většinové množství vodní páry, což má za následek, vznik oblaků. Se zvyšující se výškou, se teplota snižuje (0,65°C na 100 m výšky)¹. Nachází se až do výšky 17 km.

Tropopauza je vrstvou nad troposférou. Jsou pro ni typické nízké teploty. Je důležitá proto, že brání vodní páře pronikat do vyšších vrstev ovzduší.

Ve stratosféře dochází ve spodní vrstvě k zastavení snižování teploty s rostoucí výškou. V střední oblasti stratosféry se teplota nemění. Naopak ve vyšších vrstvách již teplota opět se zvyšující se výškou, roste. Stratosféra je důležitá, kvůli vznikajícím molekulám O₃, působením kosmického záření. Vznik ozonu je popsán v obrázku 1, kde modré koule znázorňují kyslík a fialová koule kosmické záření.



Obrázek 1- Vznik O_3 vlivem kosmického záření [24]

Mezoféra je typická značným poklesem teploty se zvyšující se výškou. K poklesu dochází vlivem odlišného chemického složení, jenž není schopno zachytit UV záření a tím nedochází k ohřevu.

V termosféře ze začátku probíhá rychlý nárůst teploty, kvůli zachycovanému rentgenovému, korpuskulárnímu a gama záření. V 700 km je teplota až 1200°C . Poslední vrstvou atmosféry je exosféra, jenž přechází plynule do vesmíru.

2 Proces znečištění atmosféry

Mluvíme o procesech, při nichž dochází k uvolňování různých typů znečišťujících látek a energií do atmosféry. Typickými látkami, které takto vznikají, jsou tepelné energie, hluk, prach, různé typy záření, jako například elektromagnetické záření a emise chemických látek. Z definice vyplývá, že znečišťování je vypouštění hmotných látek v tuhém, kapalném nebo plynném skupenství ze zdrojů do ovzduší, které buď přímo, nebo po chemických změnách v atmosféře negativně ovlivňují kvalitu a složení venkovního ovzduší, ale i zdraví člověka. [2]

Vzniklé sloučeniny zůstávají v ovzduší po různě dlouhou dobu. Z atmosféry se na zemský povrch dostávají ve formě depozic. Depozice mohou být dvojího typu:

- Mokrú depozice
- Suchá depozice

Mokrú depozice vzniká v atmosféře za pomoci vymývání srážkami. Suchá naopak dopadá na zemský povrch ve stavu prachových částic. Kromě depozic se jednotlivé chemické látky mohou z ovzduší odstraňovat chemickými reakcemi. [5]

Znečišťující látky se dostávají do atmosféry dvěma možnými způsoby:

- Primárním
- Sekundárním

Jedná-li se o primární znečišťování, tak mluvíme o procesu vypouštění znečišťujících látek do ovzduší. Jednotlivé látky poté mohou spolu následně reagovat. Poté mluvíme o sekundární znečištění. Jedná se o neutralizaci, změnu skupenství, konverzi jemných částic, atd.[5] Reakcemi látek v nižších vrstvách atmosféry dochází ke vzniku smogu. Smog je dvojího typu:

- Londýnský (redukční)
- Losangelský (fotochemický)

Londýnský nebo také jinak řečeno redukční smog, je typický pro zimní období. Skládá se z oxidu siřičitého (SO_2), prachových látek a jiných látek, které jsou schopné se snadno oxidovat. [14] Vytváří se především v oblastech, kde dohází ke spalování tuhých paliv s vyšším obsahem síry (lokální topeniště, nízké komíny).

Jak již bylo výše napsáno, druhým typem smogu je losangelský (redukční) smog. Vzniká v místech s vysokou hustotou automobilového provozu, tedy především v městských oblastech [14]. Z výfuků automobilů se uvolňují oxidy dusíku (NO_x), které reagují se slunečním zářením (fotochemická reakce) a těkavými organickými látkami. Tyto reakce mají silné oxidační účinky a způsobují silnou dráždivost (pálení očí, bolesti hlavy, poškození flóry).

Následkem znečišťování (emise) a procesů v atmosféře je znečištění (imise). Zvýšené imise znečišťujících látek mají negativní vliv na lidské zdraví, živé organismy a hmotné statky.

2.1 Rozdělení znečišťujících látek

Chování látek v atmosféře závisí na několika důležitých parametrech. Jedná se o skupenství látek, chemické složení a jejich toxicitu vůči organismům. V závislosti na skupenství rozlišujeme kapaliny, plyny a pevné látky, které se spolu mohou propojovat a vytvářet tak složitější systémy. Podle chemického složení dělíme látky na několik typů, v závislosti na obsažených chemických látkách (viz. Tabulka 1).

Tabulka 1 - Rozdělení znečišťujících látek v závislosti na chemickém složení[5]

Sloučeniny		Znečišťující látky
Sloučeniny síry	Anorganické	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, CS ₂
	Organické	Merkaptany, dimethylsulfid
Sloučeniny dusíku	Anorganické	NO, NO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , HCN, XCN
	Organické	Aminy, dusitany, peroxodusičnany, PAN
Sloučeniny kyslíku		Ozon a další oxidanty
Sloučeniny uhlíku	Anorganické	CO ₂ , CO
	Organické	Methan, uhlovodíky aromatické, alifatické, alkoholy, fenoly, organické kyseliny a další organické sloučeniny
Sloučeniny halogenové	Anorganické	F, HF, Cl, HCl, Br
	Organické	Chlorované uhlovodíky (DDT, PCB, PCDD, PCDF)
Ostatní znečišťující látky		Sloučeniny a páry kovů

2.2 Zdroje znečišťujících látek

Jednotlivé zdroje znečištění rozdělujeme podle dvou měřítek a to podle způsobu vzniku a geometrického charakteru. V závislosti na geometrickém charakteru rozlišujeme tři typy zdrojů znečištění:

- bodové
- liniové
- plošné

Mezi plošné zdroje znečištění patří lomy, skládky anebo místa se zvýšenou hodnotou koncentrací z bodových zdrojů v menších prostorech. Druhým typem, jak již bylo výše zmíněno, jsou liniové zdroje, jimiž je automobilová doprava. Posledním typem je bodový zdroj, kterým obvykle jsou samostatně stojící komíny, využívané k odvodu toku emisí.[8]

Druhým kritériem rozdělení zdrojů znečišťujících látek, je z hlediska jejich původu. Dělíme je na zdroje přirozeného a antropogenního původu. Přirozeného původu nevznikají lidskou činností, jsou samovolně, ovlivňují složení atmosféry. Patří mezi ně:

- Požáry lesních porostů – jsou zdrojem látek podobných, jenž vznikají spalováním fosilních paliv (CO , CO_2 , NO_x , PM_x).
- Vulkanická činnost – je zdrojem oxidů síry (SO_x), oxidů dusíku (NO_x), a jiných.
- Mikroorganismy – uvolňují metan (CH_4), sulfan (H_2S), oxidy dusíku (NO_x).
- Půda – působením větru dochází k vznosu prachových částic.
- Oceán – slané aerosoly.[34]

Látky antropogenního původu mají často podobný charakter jako přirozené, avšak jsou mezi nimi i další škodlivé látky, které se v přírodě nevyskytují. Ke zvyšování znečištění ovzduší lidskou činností dochází z mnoha důvodů. Jedním z nejpodstatnějších je zvyšující se globální spotřeba energií, které jsou získávány především z fosilních paliv.[5]

V současné době se vychází z předpokladů, že vlivem lidské činnosti se do atmosféry uvolní 10% emisí z celkového množství. Antropogenní emise jsou ovšem produkovány nejvíce přímo v oblastech zalidněných oblastech a jejich relativní vliv na kvalitu ovzduší v lidských sídlech je proto mnohem vyšší. Většina emisí znečišťujících látek pochází z termických a chemických procesů. Např.: energetika, doprava, hutnictví železa, spalování odpadů a výroba některých produktů, jako jsou barviva, hnojiva, lepidla, atd.

2.3 Způsob měření znečišťujících látek

Ke zjišťování úrovně znečištění ovzduší znečišťujícími látkami, se využívá monitoringu imisí. Z takto získaných hodnot koncentrací se určuje stav ovzduší na základě srovnání s limitními koncentracemi znečišťujících látek. Hlavními cíly imisních monitorovacích sítí je:

- Stanovit expozice populace nadměrným koncentracím znečišťujících látek a hodnocení dopadu na zdraví populace.
- Poskytovat podklady a informace o současném stavu kvality ovzduší.
- Stanovit expozice pro přírodní ekosystémy nadměrným koncentracím znečišťujících látek
- Zprostředkovat podklady v případě krátkodobého opatření v případech se zhoršenou kvalitou ovzduší.
- Identifikovat možné zdroje znečištění ovzduší a vyhodnotit dopady plošných a bodových zdrojů znečištění.
- Poskytnout podklady k určení přes hraničních přenosů jednotlivých znečišťujících látek. [4]

Pro monitoring je důležité, aby dokázal zachytit velké území, abychom mohli monitorovat rozložení znečišťujících látek. K tomu je zapotřebí síť monitorovacích stanic. S pomocí stanic lze zjišťovat změnu koncentrací v závislosti na čase. Měří se všechny znečišťující látky, pro které jsou stanoveny imisní limity. Naměřené koncentrace jsou specifikovány s pomocí čtyř parametrů, viz vztah 1 :

$$v = v(p, r, s, t)$$

- p – označuje pozici měření
- r – označuje dobu odběru
- s – typ měřené látky (NO_2 , PM_{10} , atd.)
- t – chvíle měření

2.3.1 Imisní monitorovací síť

V 60. letech docházelo k nárůstu znečištění ovzduší, což způsobilo vznik a rozšíření sítě imisních stanic v České republice. Prvně vzniklé stanice, byly provozovány Českým hydrometeorologickým ústavem v nejvíce znečištěných oblastech. Kromě stanic provozovaných ČHMÚ vznikaly i stanice provozované hygienickými službami v městských oblastech. Do roku 1987 byly veškeré stanice provozovány manuálně. Až od roku 1987 začaly vznikat automatizované stanice, které měřily oxid siřičitý (SO_2) a částečné oxidy dusíku (NO_x). Jednotlivé typy stanic a způsoby měření jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 - Typy stanic imisního monitoringu [4]

Typ stanice	Způsob měření	Interval odběru vzorků	Sběr hodnot a zpracování	Určení stanice
Manuální	manuální	> 3 hodiny	Vše manuálně, analýza a zpracování v laboratoři	Režimové, účelové sledování
Kontinuálně manuální	kontinuální	3 hodiny	Zpracování mimo místo měření	Režimové, účelové sledování
AMS	kontinuální	30 minut – 3 hodiny	Automatizovaný sběr i vyhodnocení v místě měření	Režimové, státní sítě
AMS-SRS	kontinuální	30 minut – 3 hodiny	Automatizovaný sběr i vyhodnocení v místě měření	Operativní pro zajištění SRS
Speciální	manuální	podle metody	Vše manuálně, analýza a zpracování v laboratoři	účelové

3.3.2 Typy stanic

Podle rozhodnutí Evropské komise (97/101/EC) se rozdělují imisní stanice podle 3 základních charakteristik:

- Typu stanice
- Typu oblasti stanice
- Charakteristiky oblastí

Podle typu stanice rozlišujeme dopravní, průmyslovou a pozadřovou. Druhým kritériem, jak bylo výše uvedeno, je oblast stanice. Podle tohoto kritéria dělíme stanice na předměstské, městské a venkovské. Poslední způsobem, jak se dělí stanice, je podle charakteristiky typu oblasti na zemědělské, obytné, průmyslové, obchodní, přírodní a jejich vzájemné kombinace.

Městská pozadřová stanice se nachází ve větší vzdálenosti od zdrojů, čímž jsou výsledky reprezentativní pro podmínky, které panují v celém okruhu města. Průmyslová je umístěna v oblasti s velkým množstvím průmyslových zdrojů. Dalším typem je venkovská, která se nachází, co nejdále od místních komunikací, průmyslu a obytných oblastí, ve volném prostoru. Na jednotlivých stanicích se měří různé látky, v závislosti na jejich typu a umístění. Příklady měřených látek a jejich způsobu měření jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 - Měřené látky [4]

Typ znečišťující látky	Způsob měření
SO ₂	UV- fluorescence
NO ₂ (NO _x)	chemiluminiscence
CO	IR – korelační spektroskopie
O ₃	UV – absorpční fotometrie
benzen	plynová chromatografie
PM ₁₀	radiometrie

2.4 Tuhé znečišťující látky

K znečištění ovzduší dochází vlivem látek, jenž jsou kapalného, plynného nebo pevného skupenství. Jedná se o látky, které mohou být jak malých velikostí, tak i mohou dosahovat velikostí, které jsou dobře viditelné lidským okem. Mají velmi rozmanité chemické vlastnosti v závislosti na tom, jestli se jedná o organické nebo anorganické látky.

Příčinou vzniku kapalných látek v atmosféře, je kondenzace z vodních par. Takto vzniklé částice, jsou společně schopné v ovzduší vytvořit tzv. disperzní soustavy. Disperzní soustava se skládá ze dvou složek: disperzního prostředí a dispergované látky. Disperzním prostředím je tuhá částice a dispergovanou látkou je kapalina. V závislosti na stabilitě disperzní soustavy rozlišujeme dva typy částic a to aerosol a prach. [5]

Prachové částice se skládají z tuhých látek. V závislosti na velikosti prachových částic je dělíme na tři typy: hrubý prach, střední a jemný prach. Velikost částic hrubého prachu je vyšší než 40 μm . Střední prachové částice dosahují velikosti 1 μm – 40 μm a jemné prachové částice jsou menší než 1 μm . Po jejich rozšíření do ovzduší, dopadají po určité době na zemský povrch. [22]

Aerosoly jsou složeny z kapalně a pevně složky, jsou schopny v atmosféře vytvořit stabilní vícefázové systémy. Rozlišujeme 2 typy aerosolů:

- Disperzní aerosoly: Příčinou vzniku je narušení neboli rozprášení kapalin a pevných částic (kouře).
- Kondenzační aerosoly: Vznikají buď kondenzací nasycených par, nebo reakcemi v ovzduší (mlhy, opary, atd.)[5]

2.5 Suspendované prachové částice (PM_x)

Jsou to suspendované prachové částice o velikosti v rozsahu 1 μm až 10 μm . Podílí se na důležitých atmosférických dějích jako je vznik srážek a teplotní bilanci Země.[15] Tyto částice mají ovšem negativní vliv na lidské zdraví. Používá se u nich označení PM_x (Particulate Matter), kde x označuje velikost částice. Rozlišujeme 3 typy velikostí:

- PM_{10} částice o velikosti menší než 10 μm
- $\text{PM}_{2,5}$ částice o velikosti menší než 2,5 μm
- PM_1 částice o velikosti menší než 1 μm [13]

2.5.1 Příčina vzniku

Tyto částice mohou vznikat lidskou činností, ale mohou také být přirozeného původu. Přirozenými zdroji suspendovaných částic jsou vulkanická činnost, větrná eroze a lesní požáry. Touto činností vznikají hlavně částice o velikosti 10 μm . Dalšími přirozenými zdroji jsou kapky mořské vody a bioaerosoly. Bioaerosoly jsou různé rostlinné a živočišné produkty, tj. pyl, houby, bakterie atd.

Nejvýznamnějším antropogenním zdrojem jsou spalovací procesy, hlavně v automobilových motorech a elektrárnách a další vysokoteplotní procesy, jako je tavení rud a kovů nebo svařování. [15] Díky těmto procesům se produkují částice o velikostech přibližně 20 nm. Kromě spalování mohou vznikat částice při zemědělských operacích, těžbě surovin, ale i při odnosu částic ze zemského povrchu, vlivem odstranění vegetace.

2.5.2 Vliv na životní prostředí

Částice se nacházejí v atmosféře po různě dlouhou dobu, v závislosti na jejich velikosti, přičemž platí, že čím je částice menší, tím déle zůstává v ovzduší. Například částice o velikosti 10 μm pobývá v ovzduší po několik hodin. Zatímco částice o velikosti 1 μm zůstává v atmosféře po dobu až několika týdnů. Tyto částice poté dopadají na zemský povrch ve formě depozice. Depozice může být buď suchá ne mokrá.

3.5.3 Vliv na lidský organismus

Při jeho krátkodobém působení na člověka dochází ke:

- zvýšení počtu zánětlivých onemocnění plic
- nepříznivým účinkům na kardiovaskulární systém
- zvýšení počtu hospitalizací
- zvýšení potřeby léčiv a také k vyšší úmrtnosti

Při dlouhodobém působení dochází k:

- zvýšený počet chronických onemocnění plic u dětí i dospělých
- nevratné genetické změny
- rakovinová onemocnění
- poruchy plodnosti[13]

Tabulka 4 - Imisní limity PM₁₀ a PM_{2,5}[15]

Znečišťující látka		Doba průměrování	Imisní limit	Horní mez pro posuzování	Dolní mez pro posuzování	Přípustná četnost překročení za kalendářní rok
Imisní limit pro ochranu zdraví lidí	PM ₁₀	24 hodin	50 µg/m ³	30	20	35
	PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg/m ³	14	10	
	PM _{2,5}	1 kalendářní rok	25 µg/m ³	17	12	

2.6 NO_x

Dusík spolu s fosforem patří mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky, jenž je nezbytný pro rozvoj mikroorganismů. Obsah celkového dusíku ve vodě, což je analytický skupinový ukazatel, je dán součtem koncentrací dusíku ve všech anorganických a organických dusíkatých sloučeninách.[35] Zjištění hodnoty obsahu celkového dusíku je důležité, při stanovování látkové dusíkové bilance povrchových a odpadních vod.

2.6.1 Zdroje NO_x

V atmosféře se vyskytují oxidy N₂O, NO a NO₂ a NH₃, které jsou buď přírodního nebo antropogenního původu. Oxidy dusíku vznikají jako vedlejší produkty při spalování. Množství vznikajících oxidů dusíku závisí na teplotě a koncentraci kyslíku ve spalovacím vzduchu. Oxidy dusíku vznikají i při úderu blesku. Reakcemi v ovzduší vznikají dusičnany a dusitany. Dominantním zdrojem amoniakálního dusíku v ovzduší je biologická produkce a rozklad organické hmoty v půdě. Atmosférickou depozicí se oxidy dusíku a amoniak dostávají do ostatních složek životního prostředí.

2.6.2 Vliv na zdraví člověka

Jednotlivé dusíkaté sloučeniny se mohou navzájem přeměňovat. Amoniakální dusík může nitrifikací přecházet na dusičnany. Dusičnany se mohou v gastrointestinálním traktu redukovat bakteriální činností na toxické dusitany. Dusitany reagují s hemoglobinem na methemoglobin, který nemá schopnost přenášet kyslík v krvi. Problém vzniká především u kojenců asi do 3 měsíců věku.[35] Dusitany mohou také v silně kyselém prostředí (např. v žaludku) reagovat se sekundárními aminy (mohou vznikat v žaludku rozkladem organických dusíkatých látek) za vzniku N-nitrosaminů, z nichž některé se považují za potenciální karcinogeny. [23]

2.7 Polyaromatické uhlovodíky

Jedná se o rozmanitou skupinu polycyklických aromatických sloučenin uhlovodíků. Pro tyto látky je charakteristické, že obsahují aromatické benzemové jádro a neobsahují heteroatomy či jejich substituenty. Mezi polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) řadíme například naftalen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz(a)antracen, chrysen, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen a jiné. [20] Z hlediska fyzikálních vlastností se jedná o málo rozpustné látky ve vodě, ale dobře rozpustné v olejích, tucích. Jsou to krystalické látky, bílé a nažloutlé barvy.

Tento typ látek se průmyslově cíleně nevyrábí, výjimečně mohou být vyrobeny pro laboratorní účely (pro analýzy, stanovení standartů). PAU jako skupina látek obecně jsou ovšem obsaženy v celé řadě běžných produktů dnešního průmyslu, jako jsou například: motorová nafta, výrobky z černouhelného dehtu, asfalt a materiály používané při pokrývání střech a při stavbě silnic.

2.7.1 Zdroje emisí

Hlavním zdrojem emisí PAU jsou spalovací procesy materiálů, které obsahují uhlík, ovšem k jejich vzniku dochází pouze při nedokonalém spalování. Dalším ze zdrojů emisí je příprava hliníku nebo je lze předpokládat v místech, kde se nacházejí vysokovroci, uhelné nebo ropné produkty.[20] Přírodními zdroji emisí PAU jsou požáry lesů a vulkanická činnost. Antropogenními zdroji jsou, jak již bylo výše zmíněno spalovací procesy, výroba hliníků, ale také jsou poměrně velkým zdrojem rafinerie, koksárny.

2.7.2 Dopady na životní prostředí a zdraví člověka

Jedná se o sloučeniny toxické pro většinu typů organismů. Jsou rakovinotvorné, způsobují mutace u zvířat a problémy z reprodukcí. Největším problémem je jejich vysoká perzistence nebo-li schopnost nepodléhat rozkladným procesům. Zejména pokud jsou emitovány při spalovacích procesech, jsou schopné transportu atmosférou na velké vzdálenosti (ve formě naadsorbované na zrna sazí a prachových částic).

Většina sloučenin polycyklických aromatických uhlovodíků působí silně negativně na lidský organismus. Nebezpečné jsou především z důvodů jejich vysoké karcinogenity a negativně ovlivňují vývoj plodu. Například benzo (a) pyren se uvolňuje při kouření cigaret do plic. Takto vykouřených 20 cigaret denně působí na člověka stejně neblaze, jako kdyby pobýval v kontaminovaném prostředí s koncentrací této látky 20 ng.m^{-3} . [20]

Expozice může vést k následujícím rizikům pro zdraví člověka:

- ohrožení zdravého vývoje plodu;
- riziko onemocnění rakovinou;
- podráždění až popálení kůže;
- Opakované expozice způsobují ztenčení a popraskání pokožky.[30]

2.7.3 Imisní limity PAU

Pro PAU je stanovený obecný emisní limit $0,2 \text{ mg/m}^3$ pro celkovou hmotnostní koncentraci těchto látek. Pro benzo(a)pyren je imisní limit 1 mg/m^3 za rok. [20]

2.8 Rozptyl znečišťujících látek v ovzduší

Hodnoty koncentrací znečišťujících látek v ovzduší jsou poměrně velkým způsobem ovlivňovány klimatickými podmínkami. Množství emisí souvisí také na fyzikálních vlastnostech a geometrické charakteristice zdroje.

Geometrická charakteristika nám značí, jaký tvar má zdroj. Mnohdy se jedná o prostorově složité tvary, u nichž by bylo náročné modelování. Z tohoto důvodu dochází ke zjednodušení útvarů. Rozlišujeme několik základních typů útvarů, které jsou plošné, liniové, objemové a bodové. Kromě toho se berou v potaz výduchy v komíně, okna v budovách, ventilace nebo dveře.

Pomocí fyzikálních vlastností je popsáno rozložení koncentrací. K popsání rozložení se používá fyzikálních veličin, kterými jsou skupenství, hustota či množství tepla. Dost významnou vlastností je proudění emisí z ohledem na jejich rychlost proudění a směr výtoku.

2.8.1 Vítr

Vítr vzniká působením slunečního záření. Sluneční záření při pronikání atmosférou k zemskému povrchu vytváří teplotní gradient, při němž velikost teplotního gradientu závisí na nerovnoměrném ohřívání a ochlazování zemského povrchu. Tak to nerovnoměrně ohřívá a ochlazená zemská kůra ovlivňuje i tlakový gradient. Vítr je do značné míry ovlivněn působením Coriolisovy síly.

Vítr je popsán pomocí dvou základních parametrů, jimiž jsou rychlost a směr. Rychlost je ovlivněna délkou, směrem údolí a závisí i na charakteru terénu. V místech s hustou zástavbou je působení větru ovlivněné výškou staveb, polohou ulic, atd.

V oblastech zdrojů znečištění, ve kterých proudí vzduch, hodnoty koncentrací klesají. Může za to rychlost větru, jenž umožňuje rozptyl znečišťujících látek do větších a menších vzdáleností. Z toho vyplývá, že s vyšší rychlostí větru, se snižuje koncentrace znečišťujících látek v ovzduší, ale dochází k přenosu znečištění do větších vzdáleností.

2.8.2 Teplota

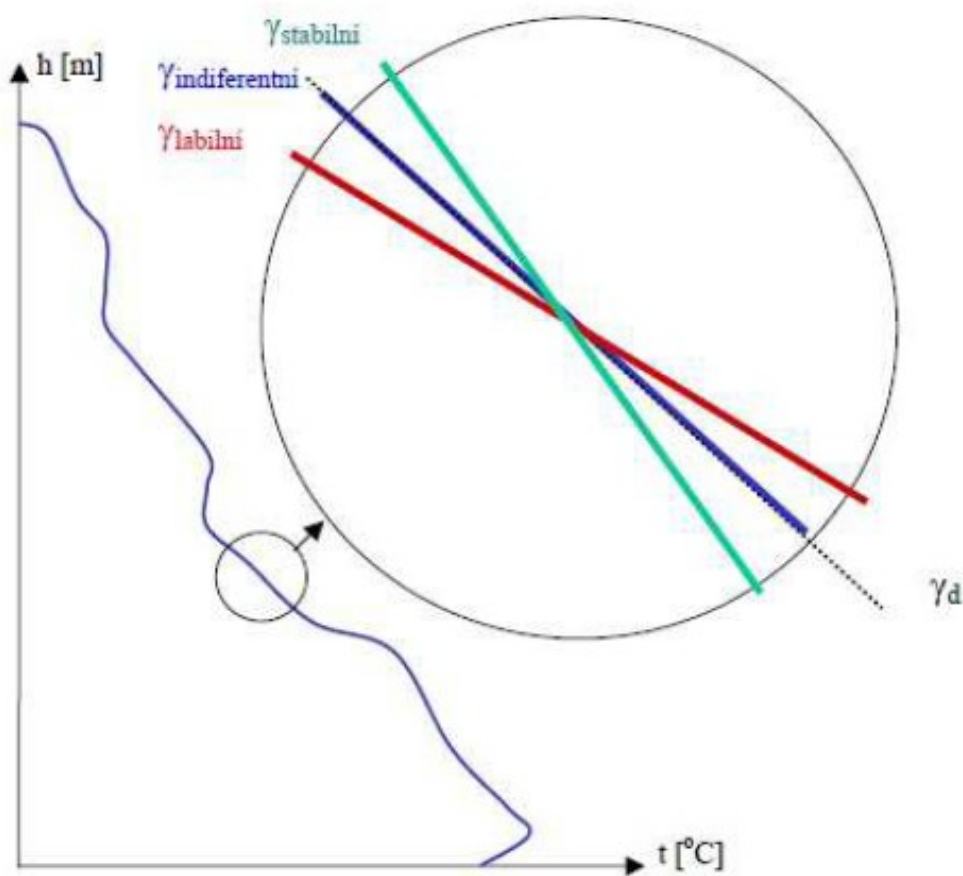
Teplota se mění v závislosti na různých vrstvách atmosféry. Její hodnota se mění v čase a v závislosti na prostorových proměnných. Teplo vzniká v ovzduší působením slunečního záření. Jakmile pronikne sluneční záření atmosférou, tak se šíří v atmosféře. K jeho šíření dochází třemi možnostmi: konvekcí, molekulární vodivostí a vlivem turbulencí.
[12]

Rozptyl látek je závislý na teplotním zvrstvení atmosféry. Teplotní zvrstvení dělíme na tři typy:

- Indiferentní
- Instabilní
- Stabilní (viz. Obrázek 2)

Nejdůležitější parametr, který ovlivňuje vznik jednoho z typů teplotního zvrstvení je

teplotní gradient.



Obrázek 2 - Teplotní gradient[21]

3 Legislativa ovzduší

Základním zákonem, jenž se používá v ochraně ovzduší, je zákon číslo 201/2012 Sb. a zákon číslo 73/2012 Sb. o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech. [35]

V zákoně číslo 201/2012 Sb. jsou stanoveny hlavně práva a povinnosti, jenž plnou pro provozovatele zdrojů znečištění. Dále jsou uvedeny informace o nástrojích ke snižování vypouštěných znečišťujících látek. Zákon č. 73/2012 Sb., upravuje práva a povinnosti osob a působnost správních úřadů při ochraně ozonové vrstvy Země a klimatického systému Země před nepříznivými účinky regulovaných látek a fluorovaných skleníkových plynů. Prováděcím právním předpisem k zákonu č. 73/2012 Sb. je vyhláška č. 257/2012 Sb., o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a fluorovaných skleníkových plynů. [35]

4 Vícerozměrná analýza

K určení zdrojů znečišťujících látek se obvykle využívá metody, jenž je založena na vícerozměrné analýze, zejména na faktorové analýze.[32]

Obecně můžeme faktorovou analýzu popsat za pomoci následujícího vzorce:

Vzorec pro výpočet modelové analýzy:

$$x_{i,j} = \sum_{n=1}^N (g_{i,n} \cdot f_{n,j} + e_{i,j})$$

Význam jednotlivých proměnných ve vzorci:

- $x_{i,j}$ proměnná j v naměřeném vzorku i
- $f_{n,j}$ příspěvek proměnné j k profilu zdroje n
- $g_{i,n}$ příspěvek zdroje n ke vzorku i
- $e_{i,j}$ chybový člen

Ze vzorce číslo 1 vyplývá, že naměřené veličiny (koncentrace) $x_{i,j}$ jsou získány součtem jednotlivých příspěvků zdrojů (N). Přičemž platí, že hodnota N je několikrát menší než hodnoty i a j . Využitím předpokladů faktorové analýzy se docílí výrazného snížení počtu parametrů.[37]

Daný vztah můžeme popsat také v maticovém tvaru:

$$X = GF^T + E$$

Vztah 2: Model faktorové analýzy v maticovém tvaru

Popis jednotlivých proměnných využitých ve vzorci číslo 2:

- X matice veškerých měření
- G matice profilů zdrojů
- F^T matice vah profilů
- E chybová matice – část modelu, která není vysvětlená pomocí N „znečišťujících“ zdrojů popsaných maticemi G a F^T . [31]

Vzhledem k tomu, že zpočátku je známa pouze matice X , řešení není jednoznačné, pokud ovšem nejsou stanoveny další podmínky. Zatímco pro anorganické polutanty je podle

U. S. EPA nejvýznamnější metodou Chemical Mass Balance, pro identifikaci zdrojů znečištění organickými látkami takto jasná shoda nepanuje a nejčastěji se používají 3 metody: Analýza hlavních komponent a její modifikace, UNMIX a Positive Matrix Factorization.

4.1 Analýza hlavních komponent (PCA)

Principal Component Analysis (PCA), neboli v českém znění analýza hlavních komponentů je jednou z metod, s jejíž pomocí je možno vyřešit problémy faktorové analýzy.

Informace, které jsou získány z PCA, je možné použít při určování a následném určení možných zdrojů znečištění. Jednou z nevýhod tohoto typu metody je neumožnění, vypočítání možných skrytých zdrojů znečištění. Touto metodou lze určit jediné lineární kombinace, což způsobuje, že takovým to způsobem určené koeficienty nelze napřímo určit.[33]

Nežádoucí výsledky PCA je možno vyřešit s použitím několika způsobů. Nejvíce používanou metodou je rotace. Při rotaci dochází k změně faktorových os. Nejčastěji používanou rotací je varimax, který vychází z podmínky součtu rozptylů váhových vektorů a posunutí výsledných hodnot do kladných čísel.

Tento typ modifikace byl navržen jako absolutní analýza hlavních komponent (APCA). Další modifikací PCA je tzv. průkazná faktorová analýza (anglicky Confirmatory Factor Analysis). Použití této metody je obecně omezené zejména na bodové zdroje kontaminace – její využití je tedy problematické, pokud připustíme difúzní zdroje znečištění.

4.2 UNMIX

Dalším typem metody, s jejíž pomocí je možné vyřešit problémy s faktorovou analýzou je UNMIX, jenž byl vytvořen pro společnost United States Environmental Protection Agency.

I zde jsou kladeny omezující parametry na konečné matice prajednoduší a lepší interpretaci výsledků. Pro zpracování v modelu UNMIX je zapotřebí mít na vstupu kladné data. UNMIX dále předpokládá, že pro každý zdroj znečištění existuje naměřený vzorek, který neobsahuje žádné nebo velmi nepatrné přispění z tohoto zdroje. [38]

K výpočtům se používá složitý algoritmus k zjištění zdrojů znečištění. Po zjištění počtu zdrojů se využije PCA, která ze získaných hodnot vypočítá faktory zdrojů. Takto vypočítané koeficienty zdrojů jsou kladné. Ovšem není to dostačující podmínka k jasnému výsledku. Druhým omezujícím parametrem jsou získány ze zdrojových dat. V jednotlivých

datech se hledají hodnoty, jenž jsou definovány body ve vzorcích, ve kterých jeden z zdrojů znečištění, se podílí daleko menším způsobem nežli ostatní zdroje. UNMIX umožňuje pomocí další podmínky, která je kladená na výsledek, určit atribut faktorů, jenž jsou získány vypočítáním z jednoho měření pro všechny faktory, ovšem nemohou být větší nežli naměřené koncentrace tohoto atributu.

4.3 Positive Matrix Factorization (PMF)

Zatímco dříve zmíněné metody UNMIX, PCA vycházejí z metody, která je založena na metodě nejmenších čtverců, tzn. minimalizují druhé mocniny reziduí. Naopak metoda Positive Matrix Factorization (PMF) využívá jiných principů.

U PCA analýz dochází poměrně často k nežádoucím deformacím, jenž jsou způsobeny normalizací dat. Přičemž optimální transformací dat lze měnit důležitost pro jednotlivý bod měření individualně. Tak lze docílit většího vlivu přesnějších dat na výsledek, zatímco data s vyšší měrou nejistoty tolik výsledek neovlivní. PMF používá přístup explicitních nejmenších čtverců (anglicky Explicit Least Squares), kde je zapotřebí minimalizovat funkci Q danou předpisem:

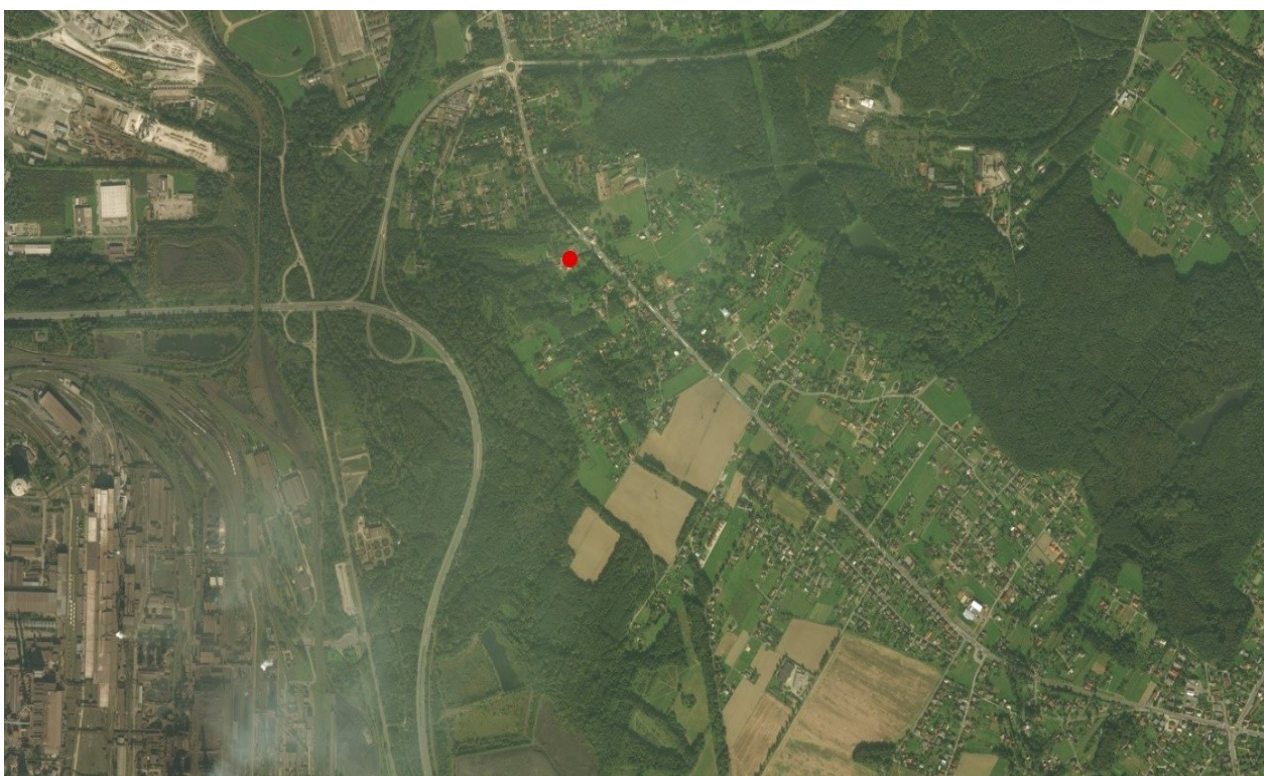
$$Q = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left(\frac{x_{i,j} - \sum_{n=1}^N g_{i,n} f_{n,j}}{s_{i,j}} \right)^2$$

Funkce Q v PMF

$s_{i,j}$ označují odhady nejistot j -té proměnné v i -tém vzorku.

5 Imisní monitorovací stanice Ostrava – Radvanice ZÚ

Imisní monitorovací stanice Ostrava – Radvanice ZÚ, jímž zřizovatelem je Český hydrometeorologický ústav se nachází na území města Ostrava, v části Radavanice. Její poloha je určena s pomocí zeměpisných směrnic: $49^{\circ}48'25.403''$ sš. $18^{\circ}20'20,904''$ vd. Typově se jedná o předměstskou, průmyslovou stanici. Nachází se v řídce zabydlené oblasti. Měří se na ní PAU (polyaromatické uhlovodíky), těžké kovy v SPM, VOC (těkavé organické látky), těžké kovy v PM_{10} a základní znečišťující látky (PM_{10} , NO_2 , SO_2 , atd.). Kromě těchto látek se na stanici měří teplota, rychlost a směr větru.



Obrázek 3 – Poloha imisní monitorovací stanice Ostrava - Radvanice ZÚ

Znečišťující látky jsou na stanici měřeny automaticky, probíhají zde čtyři typy měřících programů:

- TOREK – Kombinované měření
- TOREP – Měření PAHs
- TOREV – Měření VOC
- TOREO – Měření těžkých kovů v PM_{10}

Tato stanice byla vybrána k analýzám protože, se jedná o průmyslovou stanici, na které probíhá měření velkého množství znečišťujících látek. To umožňuje kromě provedení robustní analýzy i analýzu PCA a PMF.

6 Způsob řešení

Hlavní cíl bude zpracování dat z imisní monitorovací stanice Ostrava-Radvanice ZÚ v letech 2005 až 2016. Poté budou provedeny analýzy dlouhodobého trendu koncentrací PM_{10} , NO_2 , benzo(a)pyrenu. Dalším cílem bude provedení analýz změny koncentrací znečišťujících látek v závislosti na směru větru a faktorová analýza, díky níž bude možno určit, jak velkým způsobem se podílí jednotlivé zdroje na výsledných koncentracích znečišťujících látek v jednotlivých letech od roku 2005 až 2016.

6.1 Statistické chování koncentrací znečišťujících látek

Koncentrace znečišťujících látek mají přibližně lognormální rozdělení.[8] Nevýhodou lognormálního rozdělení je nesymetrickost, což má za následek, že nelze využít aritmetických průměrů a výběrových rozptylech při jednotlivých analýzách. To z důvodu výskytu extrémně vysokých hodnot, jenž zkreslují výslednou průměrnou hodnotu a proměnlivost dat. Za těchto předpokadů bude využita k řešení tzv. robustní statistika. Robustní statistika vychází z principů kvantilů, jenž nejsou zatíženy extrémními hodnotami.

Jedná se o statistiku, která se zabývá charakteristickou polohou jednotlivých hodnot v rámci proměnné. Definice popisuje kvantil jako hodnotu, která určitý soubor dat rozděluje na dvě části. První z těchto částí je tvořena daty, které mají menší hodnotu než zadaný kvantil. Zatímco druhá polovina se skládá z hodnot, které jsou naopak vyšší nebo rovny zadanému kvantilu.

Pro určení kvantilu je proto nutné výběr uspořádat od nejmenší hodnoty k největší. [18]

V práci budou použity kvantily:

- Minimum – 0% hodnot je nižších než minimum (0%-ní kvantil);
- 1.Kvartil (dolní kvartil) - rozděluje datový soubor tak, že 25% hodnot je menších než tento kvartil (25%-ní kvantil);
- Medián - rozděluje datový soubor tak, že polovina hodnot je menších než tento kvartil (50%-ní kvantil);
- 3.Kvartil (horní kvartil) - rozděluje datový soubor tak, že 75% hodnot je menších než tento kvartil (75%-ní kvantil);
- Maximum- 100% hodnot je nižších než maximum (100%-ní kvantil); [18]

Dalším pojmem používaným v analýzách je interval spolehlivosti, což je interval mezi prvním a třetím kvantilem.

6.2 Postup analýz

U jednotlivých analýz se vychází z hodnot koncentrací znečišťujících látek (PM₁₀, NO₂, benzo(a)pyren) od roku 2005 do roku 2016. Na začátku budou provedeny výpočty mediánů z koncentrací jednotlivých znečišťujících látek pro jednotlivé roky. Dále budou vypočteny maximální a minimální koncentrace a interval spolehlivosti, který představuje variabilitu vypočítaných dat.

V druhé analýze bude zjištěno, jak se mění koncentrace v závislosti na směru větru. Bude zjištěno, ve kterém směru je dosahováno nejvyšších koncentrací. Tak jako v předchozí analýze budou vypočteny minimum, mediány, maximum a interval spolehlivosti.

Posledním typem analýzy, jenž bude provedena je závislost změny koncentrací na týdenním chodu dopravy. K analýze budou vypočteny mediány, minima, maxima i intervaly spolehlivosti pro jednotlivé dny v týdny. Kromě toho bude zjišťován vliv změny koncentrací na intenzitě dopravy. Změny intenzity dopravy v jednotlivých dnech a obdobích popisuje technický předpis 189 (TP189). Ta znázorňuje intenzitu dopravy v jednotlivých dnech a obdobích.

Tabulka 5 - Intenzita dopravy podle TP189[26]

I-H	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
Jarní	101,7	99,5	104,5	105,5	117,7	91,5	79,6
Prázdninové	99,9	96,8	101,2	102,3	112,6	99,5	87,7
Podzimní	102,9	99,7	103,5	104,6	117,2	90,6	81,5
Zimní	106,4	102,5	106,8	106,8	118,3	85,8	73,4
II-H							
Jarní	106,5	103,1	106,2	105,8	116	87,3	75,1
Prázdninové	104,4	103,7	107,3	107,9	112,3	86,6	77,8
Podzimní	106,6	104	106,6	107,9	116,6	85,1	73,2
Zimní	111,1	105,8	109,9	110	117,4	79,4	66,4

Pro analýzu závislosti koncentrací ZL na intenzitě dopravy byly z hodnot v tabulce vypočteny souhrnné reprezentativní hodnoty jako aritmetický průměr výše uvedených hodnot, normalizovaný tak, aby průměrná hodnota byla rovna jedné, viz tabulka 6.

Tabulka 6 - Závislost koncentrací z hlediska TP 189 na chodu dopravy

Den	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
Průměr koncentrací	1,049375	1,018875	1,0575	1,0635	1,160125	0,88225	0,768375

Kromě robustní analýzy, bude i provedena PCA a PMF analýza. Pro analýzu hlavních komponent (PCA) bude využito dat z roku 2010, 2013 a 2016. Data budou zpracována ve statickém programu R, přičemž bude určen vlastní číslo. Z hodnoty vlastního čísla bude určeno, kolik zdrojů (faktorů) je významných pro danou oblast.

Analýza PMF bude provedena v programu EPA PMF. Bude využito koncentrací znečišťujících látek, jenž se měří na stanici z roku 2010, 2013 a 2016, z kterých následně bude určen podíl na koncentracích pro jednotlivé zdroje. Počet zdrojů bude zvolen v závislosti na výsledcích PCA.

7 Analýza koncentrací PM₁₀

Následující kapitola se zaměřuje na změnu koncentrací PM₁₀ v závislosti na dlouhodobém trendu, týdenním chodu a na změně koncentrací v závislosti na směru větru. K analýzám se využívají tabulky s hodnotami mediánů a grafy.

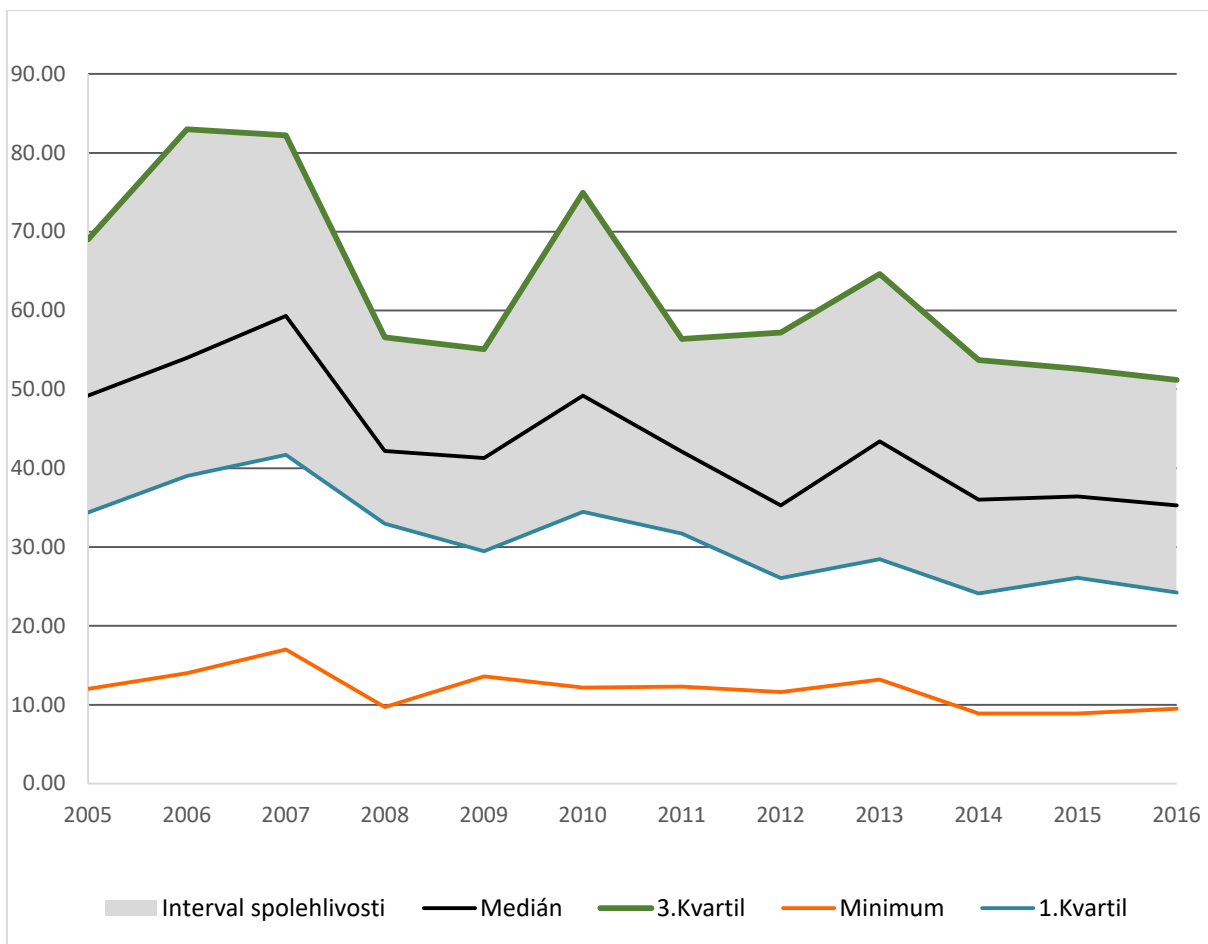
7.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací PM₁₀

V této kapitole se zabývám změnou koncentrací PM₁₀ po jednotlivých letech (dlouhodobým trendem).

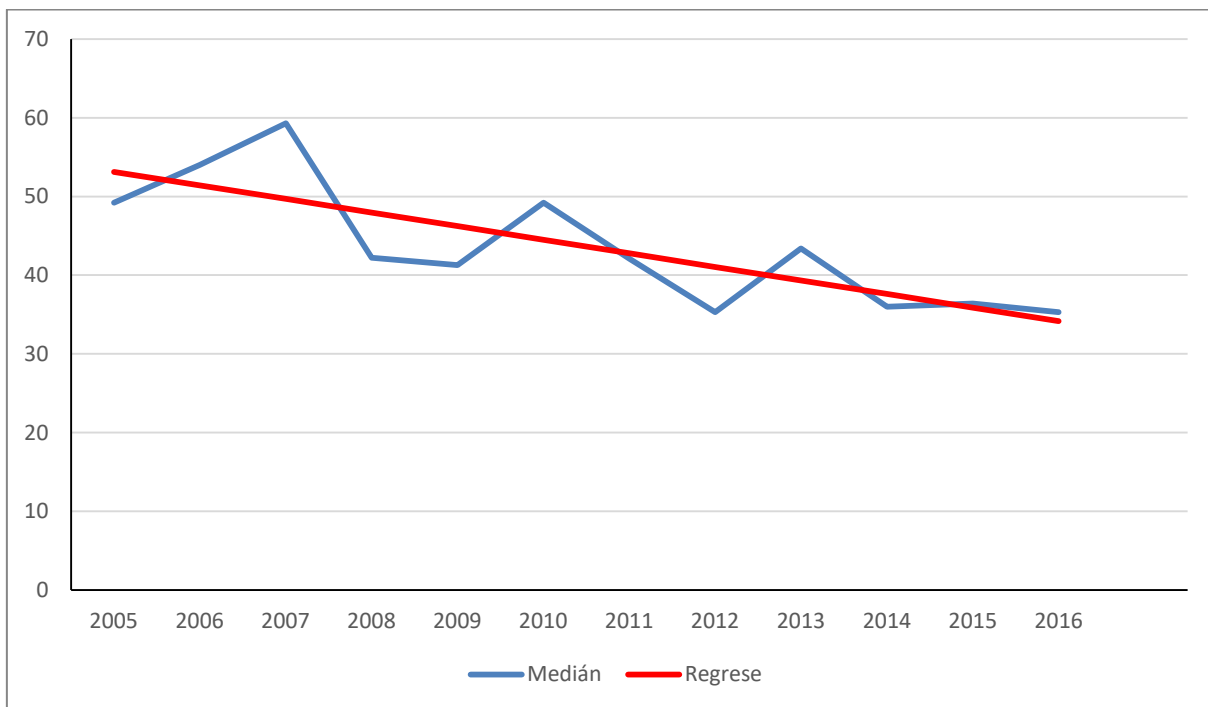
Tabulka 7 - Koncentrace PM₁₀ [μg/m³] v závislosti na dlouhodobém trendu

Rok	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
2005	357	12.00	34.40	49.20	69.00	278.00
2006	341	14.00	39.00	54.00	83.00	326.00
2007	339	17.00	41.70	59.30	82.20	220.00
2008	352	9.70	32.98	42.20	56.60	170.90
2009	362	13.60	29.48	41.30	55.08	190.10
2010	304	12.20	34.48	49.20	74.95	383.80
2011	345	12.30	31.70	42.10	56.40	185.10
2012	354	11.60	26.05	35.30	57.20	281.30
2013	324	13.20	28.48	43.40	64.63	217.90
2014	360	8.90	24.13	36.00	53.70	214.00
2015	335	8.90	26.10	36.40	52.60	152.30
2016	346	9.50	24.23	35.30	51.20	181.20

V tabulce 7, jsou vyjádřeny koncentrace PM₁₀ v období od roku 2005 do roku 2016. Od roku 2006 po rok 2007 je patrný nárůst koncentrací. Poté je viditelné, že dochází k poklesu koncentrací od roku 2008 (graf 1).



Graf 1 - Závislost koncentrací PM₁₀ [µg/m³] roku měření



Graf 2 - Trend koncentrací PM₁₀ [µg/m³]

Z analýzy grafu 1 vyplývá, že od roku 2006 do roku 2007 došlo k nárůstu hodnot koncentrací PM_{10} . Tento nárůst byl způsoben dlouhou a chladnou zimou, lze tak usuzovat ze zvýšených hodnot třetího kvartilu. Poté dochází k poklesu koncentrací, výjimkou jsou roky 2010 a 2013, kdy došlo k nárůstu koncentrací z důvodů silné zimy.

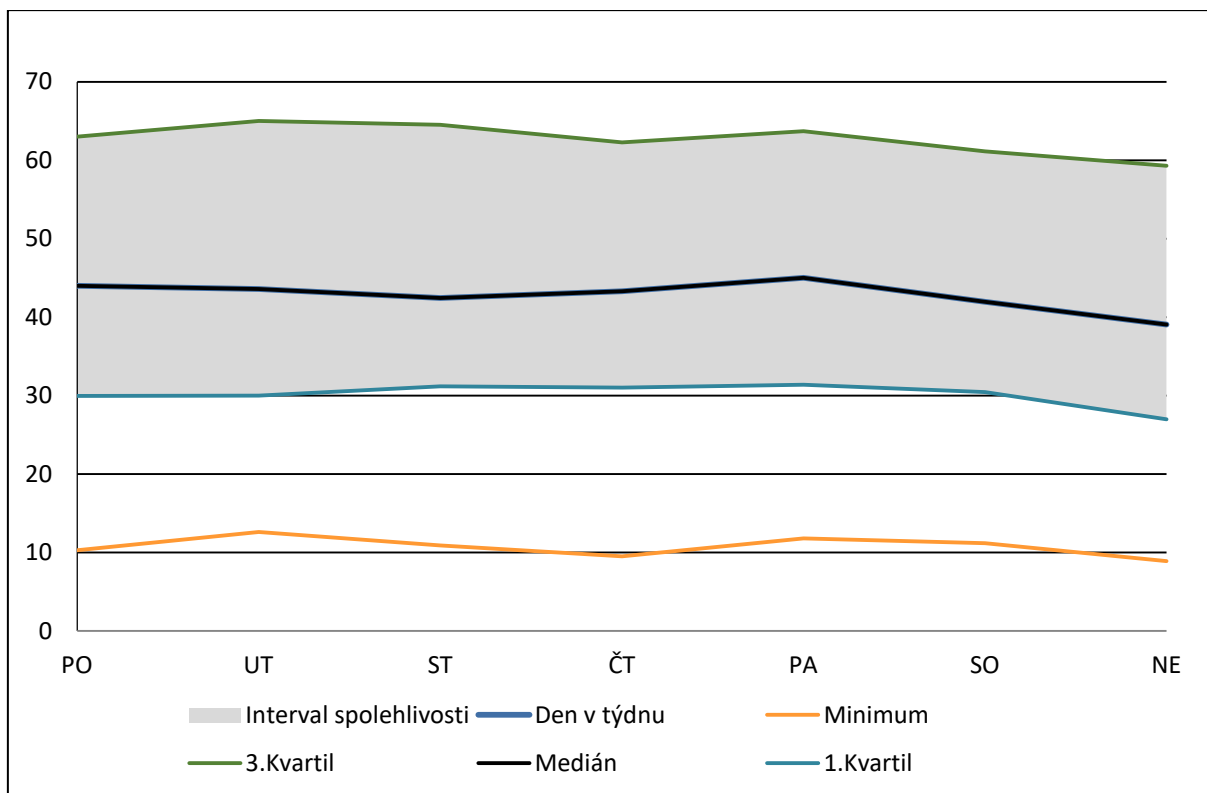
V grafu 3 je zobrazeno s pomocí lineární regrese průběh poklesu hodnot PM_{10} rychlostí $1,73 \mu\text{g}/\text{cm}^3$.

7.2 Analýza týdenního chodu koncentrací PM_{10}

V této kapitole je zaměřena pozornost na změnu koncentrace PM_{10} v závislosti na dnu v týdnu, jenž je typický pro automobilovou dopravu. Vliv automobilové dopravy je zjištěn podle závislosti mediánu hodnot PM_{10} na dopravě.

Tabulka 8 – Koncentrace PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] v závislosti na týdenním chodu

Den v týdnu	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
Pondělí	583	10.30	29.98	44.00	63.00	383.80
Úterý	588	12.60	30.00	43.60	65.00	318.80
Středa	593	10.90	31.18	42.45	64.53	217.80
Čtvrtek	595	9.50	31.00	43.30	62.30	228.70
Pátek	594	11.80	31.40	45.00	63.70	212.70
Sobota	582	11.20	30.45	41.95	61.15	276.70
Neděle	584	8.90	27.00	39.05	59.30	289.30



Graf 3 - Závislost koncentrací PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na dnech v týdnu

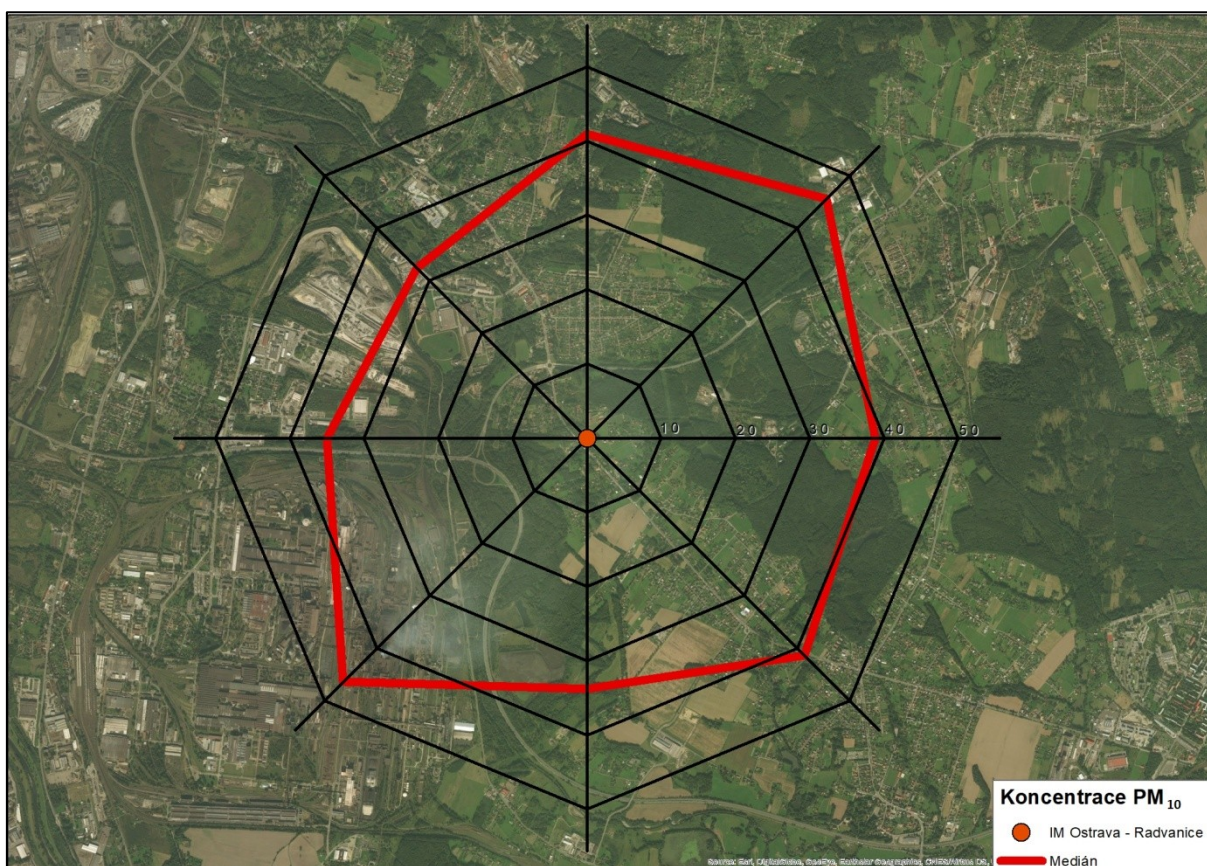
Z grafu 3, jenž vyjadřuje změnu hodnot koncentrací PM_{10} podle dnů v týdnu vyplývá, že hodnoty se v jednotlivých dnech v týdnu příliš nemění. Ovšem i tak existuje silná závislost mezi mediány koncentrací PM_{10} a intenzitou dopravy, jejíž hodnota je 0,78. Proto byla provedena regresní analýza závislosti mediánu koncentrací PM_{10} na intenzitě dopravy, jejímž výsledkem je vliv dopravy na celkových hodnotách PM_{10} . Z výsledku vyplývá, že se doprava podílí na celkových koncentracích z 20% ($7,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

7.3 Analýza závislosti koncentrací PM₁₀ na směru větru

Hlavním úkolem v této kapitole je zjistit, jak se mění koncentrace PM₁₀ v závislosti na směru větru.

Tabulka 9 – Koncentrace PM₁₀ [μg/m³] vzhledem ke směru větru

Směr větru	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
S	927	11.40	29.00	40.90	64.25	383.80
SV	490	12.30	32.93	45.55	70.45	318.80
V	44	13.10	31.48	38.85	76.15	185.10
JV	32	15.30	26.00	41.40	54.20	128.80
J	208	8.90	23.35	33.80	49.00	193.20
JZ	1963	8.90	33.50	46.40	65.35	326.00
Z	235	10.10	25.30	35.00	48.10	278.00
SZ	220	9.50	23.90	32.40	46.00	228.00



Obrázek 4 - Závislost koncentrací PM₁₀ [μg/m³] na směru větru

Z obrázku 4 je patrné, že v jihozápadním směru jsou nejvyšší koncentrace PM_{10} . Zdrojem těchto koncentrací je nejspíše přilehlý průmyslový závod ArcelorMittal. Zvýšená je koncentrace také v jihovýchodním směru. Naopak nejnižší hodnota je v severozápadním směru větru.

7.4 Výsledky korelace PM_{10}

U koncentrací PM_{10} byla zjišťována závislost (korelace) mezi mediánem koncentrací PM_{10} a emisemi TZL z Moravskoslezského kraje a emisemi z ArcelorMittalu. Byla zjištěna silná korelace jak mezi mediánem PM_{10} a průmyslovými emisemi TZL z Moravskoslezského kraje (MSK), tak i u emisí z ArcelorMittalu (viz. Tabulka 10). Nýbrž jsou obě korelace silné, tak nelze určit dominantní zdroj znečištění.

Poté byla provedena lineární regrese. S ní vyšlo, že se snížení tuhých emisí v Moravskoslezském kraji o 1000 t/rok odpovídá poklesu koncentrací PM_{10} o $4,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na imisním monitoringu Ostrava – Radvanice. Dojde-li ke snížení tuhých emisí v Moravskoslezském kraji o 100 t/rok odpovídá poklesu koncentrací PM_{10} o $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na imisním monitoringu Ostrava – Radvanice.

Tabulka 10 - Výsledek korelací pro jednotlivé zdroje

Zdroje tuhých emisí	Medián PM_{10}
Moravskoslezský kraj	87%
Průmyslové zdroje v MSK	91%
ArcelorMittal Ostrava (AMO)	87%
Ocelárna AMO	-7%
Koksovna AMO	82%
Vysoké pece a aglomerace AMO	85%
Energetika AMO	84%
Ostatní průmyslové zdroje v MSK	91%

7.5 Diskuse analýz PM_{10}

Po provedení analýz lze říci, že období od roku 2005 do roku 2016 je možné rozdělit na dvě časové období, s různým chováním hodnot koncentrací PM_{10} . V době od roku 2006 až do roku 2007 dochází k nárůstu koncentrací PM_{10} o $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok. Od roku 2008 dochází k poklesu koncentrací o $1,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok. V letech 2010, 2013 dochází k mírnému nárůstu koncentrací vlivem chladných a dlouhých zim. Tento nárůst je způsoben nejspíše lokálními

topeništi, čemuž odpovídá nárůst hodnot třetího kvartilu. Pokles koncentrací lze přičítat sníženému množství tuhých emisí z průmyslových zdrojů.

S pomocí analýzy zkoumající vliv koncentrací PM_{10} na týdenním chodu (dnech v týdnu) a uvedených informacích o intenzitě dopravy lze určit vliv dopravy na výsledné koncentrace PM_{10} . Po provedení lineární regrese je zjištěno, že automobilová doprava se podílí z 20% ($7,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) na koncentracích PM_{10} .

Z analýzy zabývající se závislostí koncentrací PM_{10} na směru větru je patrné, že nejvyšších hodnot je dosaženo v jihozápadním směru. Zdrojem těchto koncentrací je nejspíše přilehlý průmyslový závod ArcelorMittal.

Byla zjištěna silná korelace mezi mediánem koncentrací PM_{10} a emisemi TZL z Moravskoslezského kraje a emisemi z ArcelorMittalu. U obou by silná na tolik, že nelze určit dominantní zdroj. Z lineární regrese bylo zjištěno, že když se sníží množství tuhých emisí v Moravskoslezském kraji o 1000 t/rok, tak dojde k poklesu koncentrací PM_{10} o $4,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na imisním monitoringu Ostrava – Radvanice. Anebo snížením tuhých emisí v Moravskoslezském kraji o 100 t/rok odpovídá poklesu koncentrací PM_{10} o $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na imisním monitoringu Ostrava – Radvanice.

8 Analýza koncentrací NO₂

V následující kapitole je cílem zjistit, jak jsou závislé koncentrace NO₂ na jednotlivých letech, směru větru a dnech v týdnu (týdenním chodu). K analýzám se používají grafy s regresí, mediány. Je také sledováno, jaký vliv má doprava na koncentrace NO₂. K určení tohoto vlivu se využívá technického předpisu (TP 189).

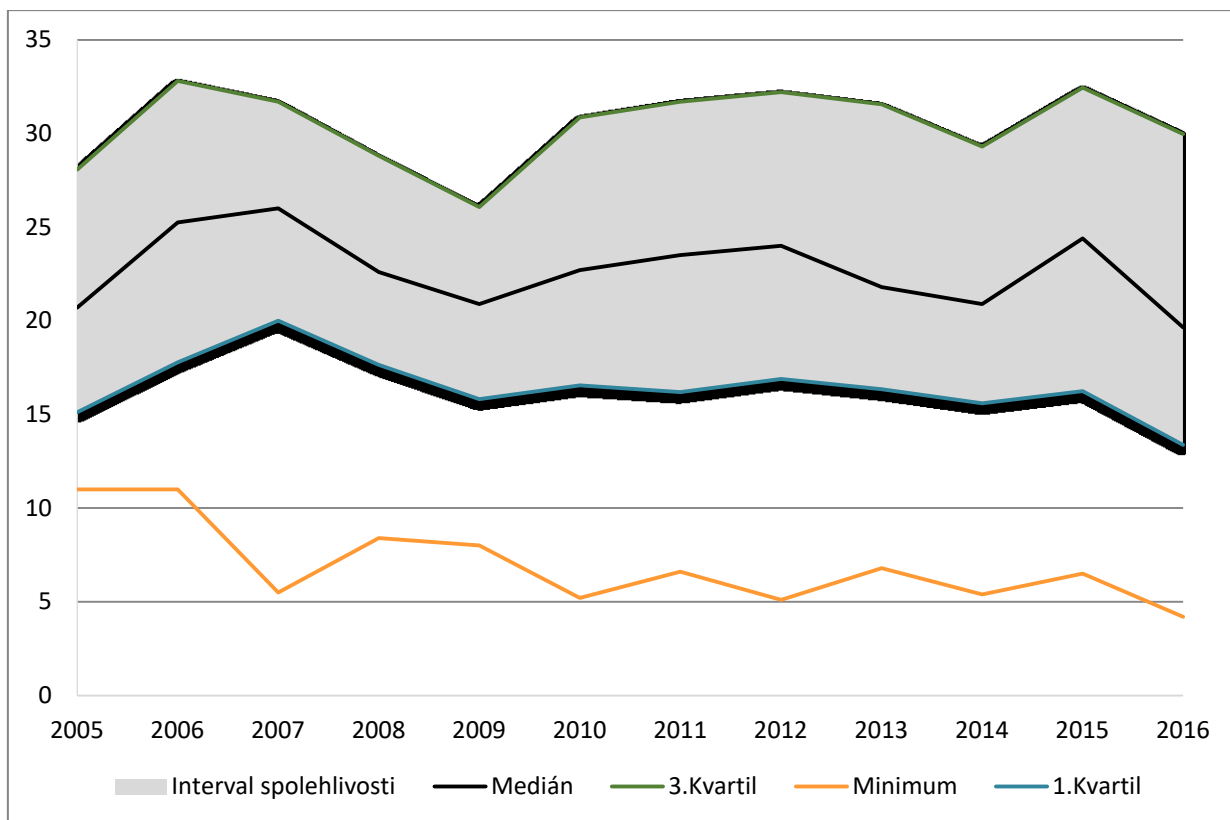
8.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací NO₂

V této kapitole je zaměřena pozornost na změnu koncentrací NO₂ z dlouhodobého hlediska (po jednotlivých letech).

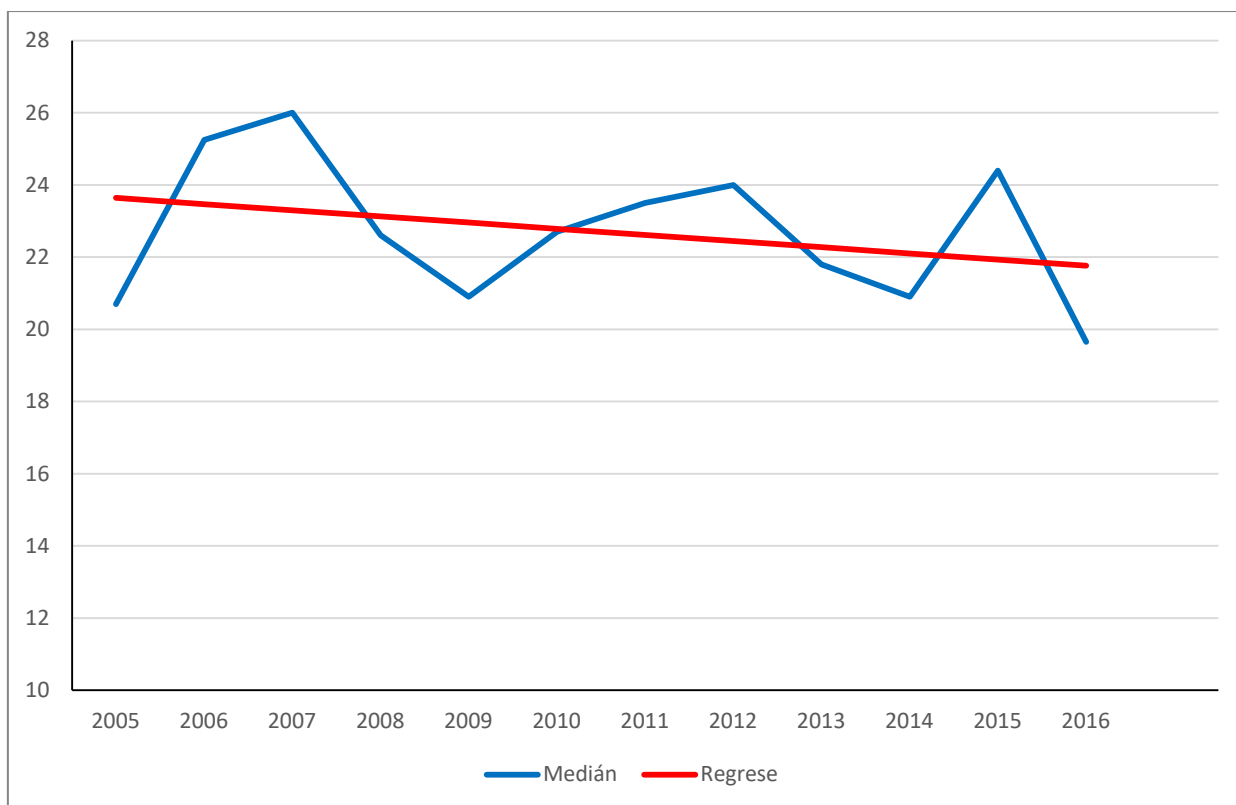
Tabulka 11 – Koncentrace NO₂ [μg/m³] v závislosti na roku měření

Rok	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
2005	354	11.00	15.13	20.70	28.08	108.30
2006	328	11.00	17.78	25.25	32.80	112.70
2007	347	5.50	20.00	26.00	31.70	56.60
2008	363	8.40	17.65	22.60	28.80	56.00
2009	334	8.00	15.83	20.90	26.08	53.80
2010	351	5.20	16.55	22.70	30.85	95.50
2011	339	6.60	16.20	23.50	31.70	61.80
2012	354	5.10	16.90	24.00	32.20	69.20
2013	351	6.80	16.35	21.80	31.55	67.90
2014	357	5.40	15.60	20.90	29.30	58.50
2015	355	6.50	16.25	24.40	32.45	56.10
2016	352	4.20	13.38	19.65	29.96	53.70

V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty koncentrací NO₂ od roku 2005 po rok 2016. Je patrné, že dochází k postupnému poklesu koncentrací od roku 2007.



Graf 4 - Závislost koncentrací NO₂ [µg/m³] roku měření



Graf 5- Trend mediánu koncentrací NO₂ [µg/m³]

Z analýzy (graf 5) je viditelné, že v roce 2007 je dosaženo nejvyšší hodnoty koncentrací NO₂. Poté dochází k poklesu koncentrací po rok 2009. V následujících letech se koncentrace příliš nemění, výjimkou je rok 2015, kdy došlo k jejich nárůstu. Nárůst koncentrací může být způsoben silnou zimou, což je dobře viditelné, z nárůstu 3 kvartilu.

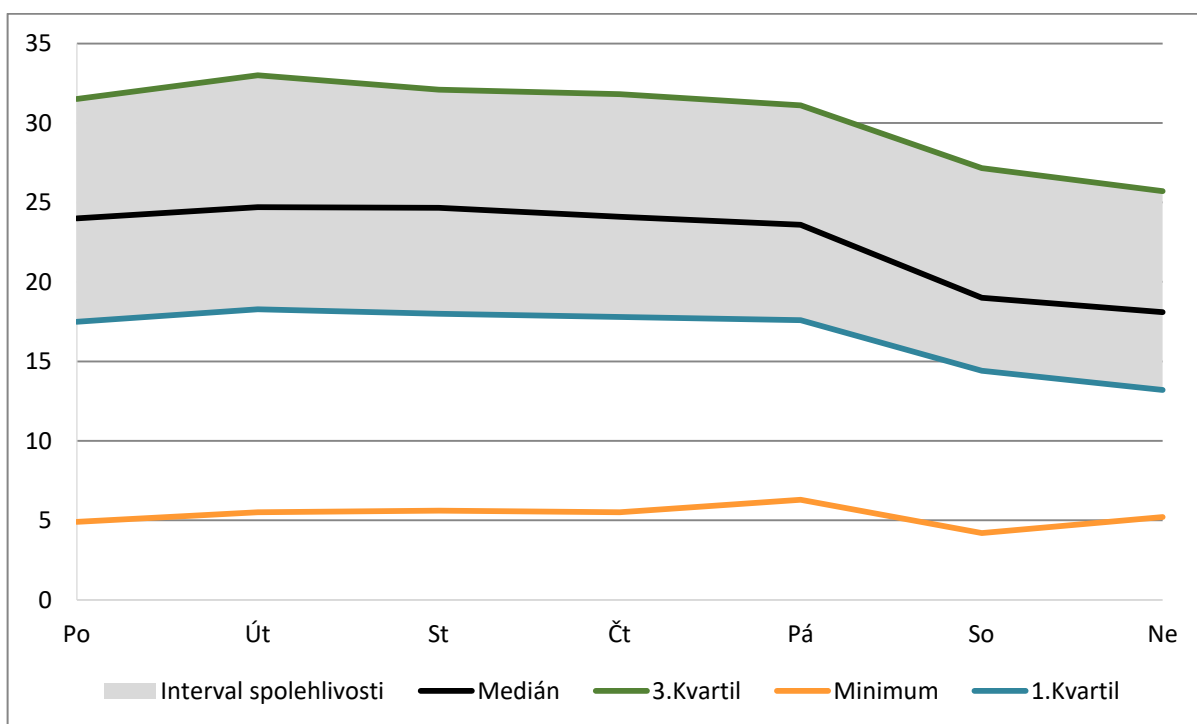
V grafu 6 je popsána změna hodnot koncentrací NO₂ s využitím lineární regrese. Je patrné, že dochází k poklesu koncentrace o 0,17 µg/m³.

8.2 Analýza týdenního chodu koncentrací NO₂

Tato kapitola se zaměřuje na závislost koncentrace NO₂ na jednotlivých dnech v týdnu. Dále je zjišťováno, jakým způsobem se doprava podílí na celkových koncentracích NO₂.

Tabulka 12 – Koncentrace NO₂ [µg/m³] podle dnů v týdnu

Den v týdnu	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
Pondělí	592	4.90	17.50	24.00	31.50	112.70
Úterý	594	5.50	18.28	24.70	33.00	89.30
Středa	597	5.60	18.00	24.65	32.10	88.40
Čtvrtek	606	5.50	17.80	24.10	31.80	85.60
Pátek	606	6.30	17.60	23.60	31.10	74.40
Sobota	597	4.20	14.40	19.00	27.15	66.50
Neděle	593	5.20	13.20	18.10	25.70	78.80



Graf 6 - Závislost koncentrací NO₂ [µg/m³] na dnech v týdnu

Z grafu 6, který se zaměřuje na závislost koncentrace NO₂ na týdenním chodu, je patrné, že v pracovních dnech dochází k nárůstu koncentrací (od pondělí do pátku). O víkendu naopak hodnoty NO₂ klesají. Provedením korelace mezi mediány NO₂ a intenzitou dopravy je patrná silná korelace 0,89. Z tohoto důvodu je provedena regresní analýza, z které vyplývá, jak velkým způsobem se doprava podílí na celkových koncentracích. Z regresní analýzy vyplývá, že se doprava podílí na koncentracích NO₂ z 69% (14,8 µg/m³).

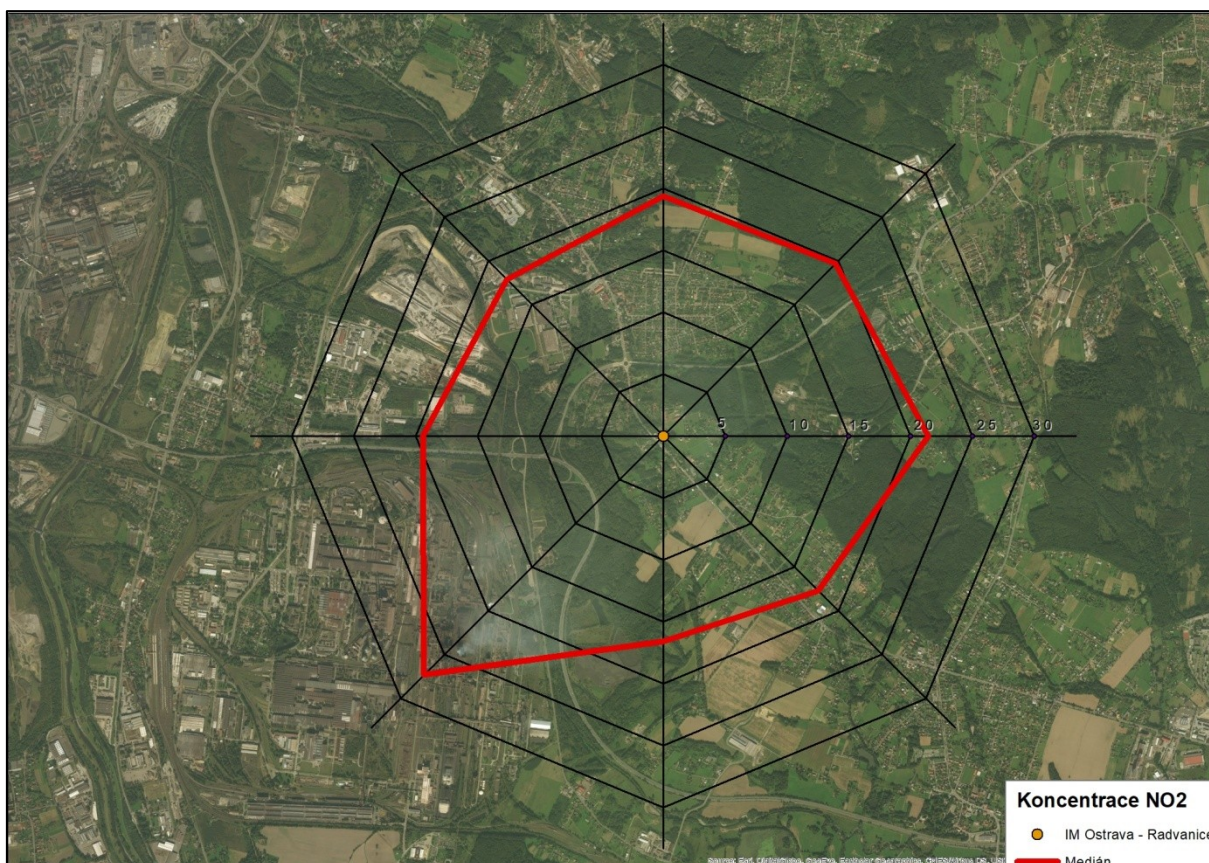
Tento výsledek velice dobře koresponduje s tím, že je jen velice slabá korelace mezi emisemi NO_x z ArcelorMittal Ostrava, resp. Moravskoslezského kraje a naměřených koncentrací NO₂.

8.3 Analýza závislosti koncentrací NO₂ na směru větru

V této kapitole se zaměřuje pozornost na závislost koncentrací NO₂ na směru větru, je zjištěno, v jakém směru je dosahováno nejvyšších hodnot koncentrací NO₂.

Tabulka 13 – Koncentrace NO₂ [µg/m³] vzhledem ke směru větru

Směr větru	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
S	953	4.20	14.60	19.40	25.80	95.50
SV	496	5.50	14.80	19.70	27.63	96.60
V	45	7.70	16.00	21.40	34.10	61.80
JV	32	6.60	13.08	17.70	26.40	43.80
JV	212	4.90	12.00	16.60	23.10	74.80
JZ	1977	5.50	20.20	27.30	34.00	112.70
Z	241	6.40	14.90	19.40	25.10	108.30
SZ	229	5.10	13.50	17.90	22.80	78.80



Obrázek 5- Závislost koncentrací NO₂ [µg/m³] na směru větru

Na obrázku 5 je viditelné, že nejvyšší hodnota koncentrací NO₂ je v jihozápadním směru. Je to způsobeno silnicí 11, na které je hustý a silný provoz. Ve zbývajících směrech se koncentrace příliš nemění.

8.4 Diskuse analýz NO₂

Z analýzy dlouhodobého vývoje (2005-2016) lze vypožorovat, že podobně jak u koncentrací PM₁₀ dochází v letech 2006 a 2007 k nárůstu koncentrací NO₂. Jedná se o nárůst 5,8 µg/m³ oproti roku 2005. V roce 2008 dochází k velkému poklesu oproti roku 2007 o 2,35 µg/m³ za rok. V následujících letech dochází k pomalému poklesu o 0,17 µg/m³ za rok.

Z výsledků analýzy vlivu týdenního chodu na hodnoty koncentrací NO₂, je viditelné, že jejich chování odpovídá intenzitě dopravy. Je patrné zvýšení koncentrací v průběhu pracovního týdne. Nejvyšší koncentrací je dosaženo v úterý, zatímco o víkendu koncentrace NO₂ klesají. Takové to chování koncentrací odpovídá intenzitě dopravy. Z provedené korelace mezi mediány koncentrací NO₂ a intenzitou dopravy je zjištěna silná korelace 0,89.

Z následné regrese je odhadnuto, že doprava se podílí na koncentracích NO_2 z 69% neboli z $14,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ z celkových hodnot NO_2 .

Z analýzy závislosti koncentrace NO_2 na směru větru je patrné, že nejvyšších koncentrací je dosaženo v jihozápadním směru. Je to způsobeno, nedaleko se nacházející silnicí 11, na níž je hustý provoz.

9 Analýza koncentrací benzo(a)pyrenu

Tato kapitola se zaměřuje na závislost koncentrace benzo(a)pyrenu na jednotlivých letech (dlouhodobém trendu), týdenním chodu, směru větru a jednotlivých měsících. K vyhodnocení analýz se využívá grafů s regresí, tabulek s hodnotami mediánů atd. Je určeno, jak velký vliv má doprava na koncentrace benzo(a)pyrenu. K určení se používá technický předpis (TP 189).

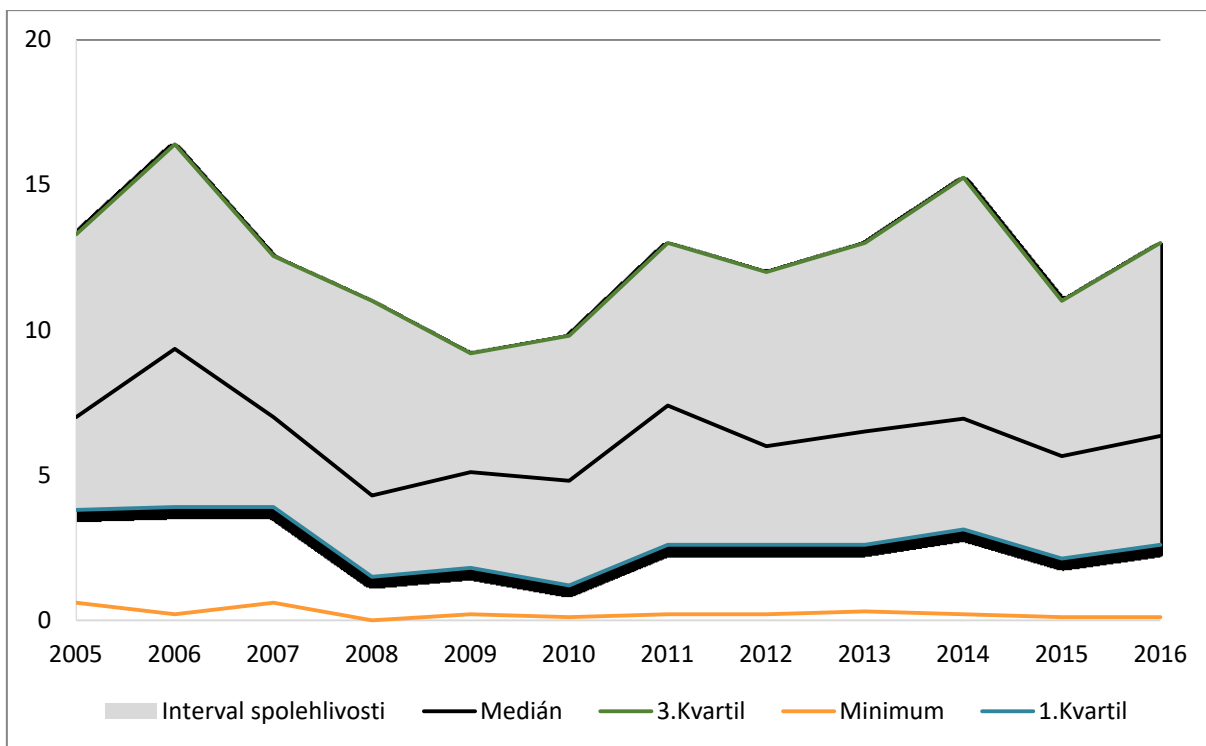
9.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací benzo(a)pyrenu

Cílem této kapitoly je zjistit závislost hodnot koncentrací benzo(a)pyrenu na jednotlivých letech (2006-2016).

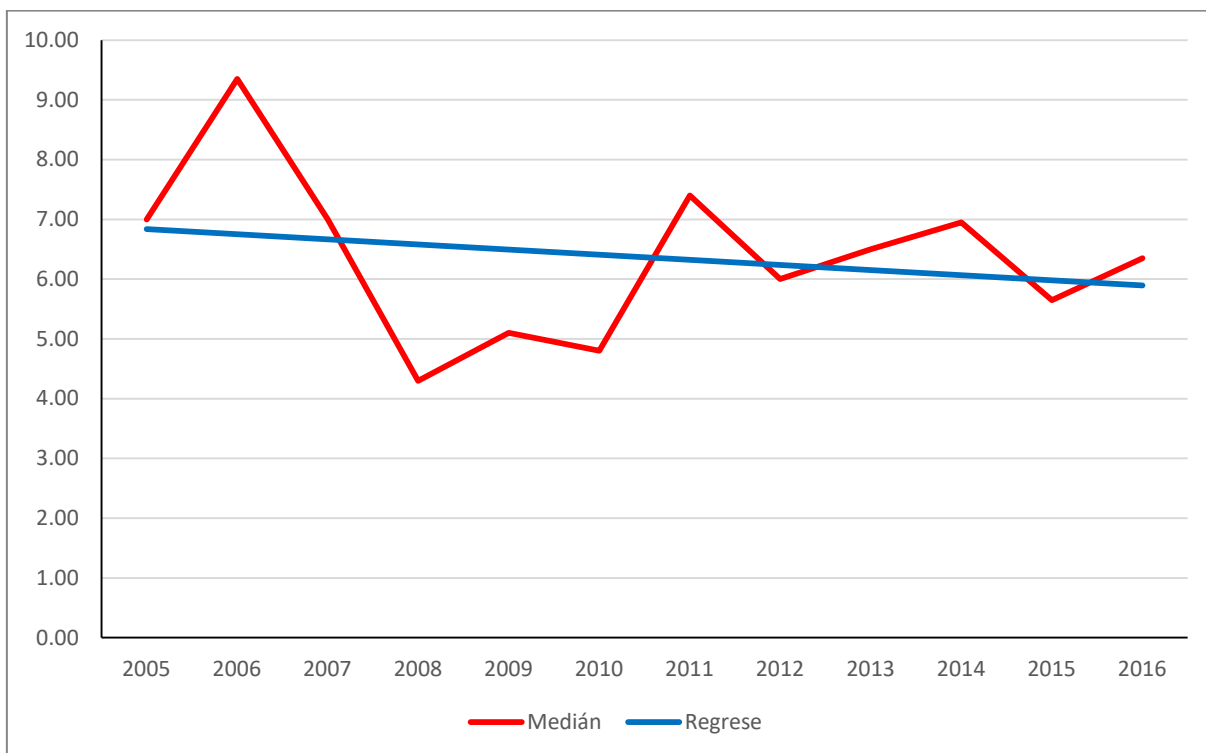
Tabulka 14 – Koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m^3] v závislosti na roku měření

Rok	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
2005	61	0.60	3.80	7.00	13.30	51.80
2006	60	0.20	3.90	9.35	16.40	63.40
2007	59	0.60	3.90	7.00	12.55	26.40
2008	61	0.00	1.50	4.30	11.00	92.00
2009	61	0.20	1.80	5.10	9.20	54.00
2010	61	0.10	1.20	4.80	9.80	38.00
2011	61	0.20	2.60	7.40	13.00	54.00
2012	61	0.20	2.60	6.00	12.00	53.00
2013	61	0.30	2.60	6.50	13.00	60.00
2014	60	0.20	3.13	6.95	15.25	31.00
2015	122	0.10	2.13	5.65	11.00	37.00
2016	122	0.10	2.60	6.35	13.00	39.00

V tabulce 14 jsou zobrazeny hodnoty mediánů v období od roku 2005 do roku 2016. Je patrné, že od roku 2006 až po rok 2010 dochází k poklesu koncentrací benzo(a)pyrenu.



Graf 7 - Závislost koncentrací benzo(a)pyrenu [ng/m³] na roku měření



Graf 8 - Trend mediánu koncentrací benzo(a)pyrenu [ng/m³]

Z grafu 5 vyplývá, že od roku 2006 po rok 2008 dochází k poklesu koncentrací benzo(a)pyrenu. Tento pokles je způsobený omezením výroby na koksově v ArcelorMittalu. V letech 2011, 2014 dochází k nárůstu koncentrací. Nárůst způsoben dlouhou zimou. Lze tak usuzovat z nárůstu 3 kvartilu.

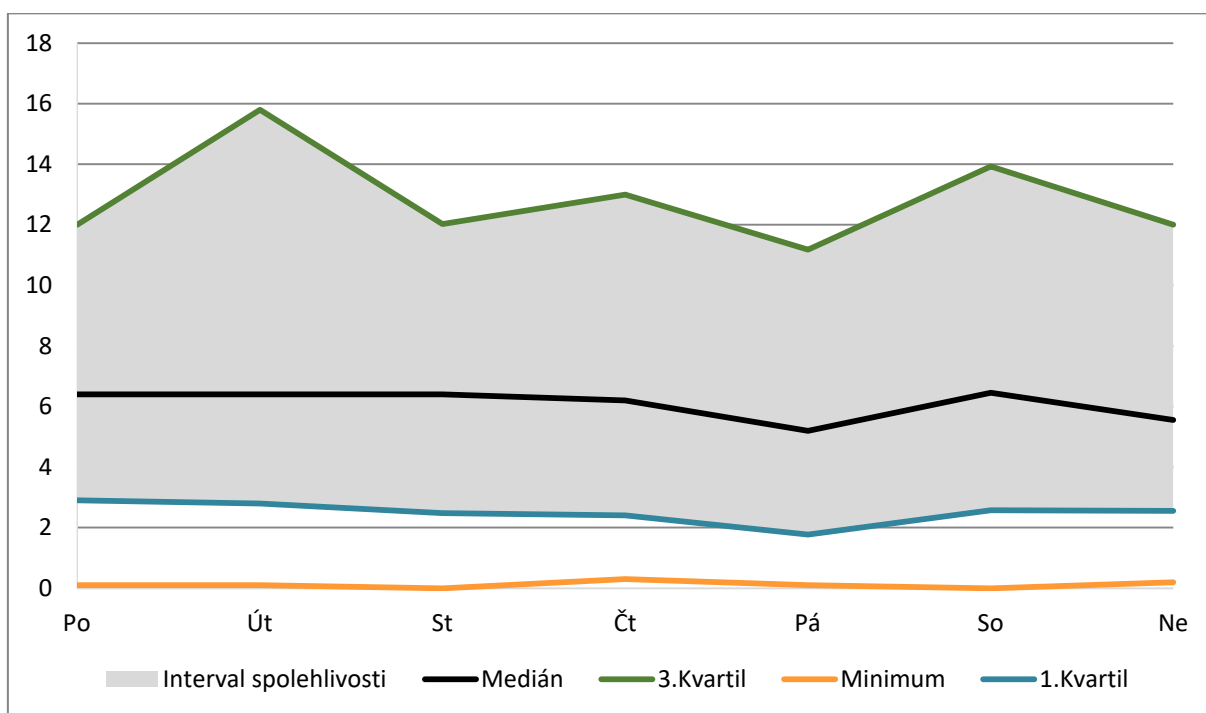
V grafu 6 je znázorněno chování mediánů v letech 2006 až 2016. Z provedené regrese bylo zjištěno, že dochází k poklesu koncentrací $0,086 \text{ ng/m}^3$ za rok.

9.2 Analýza týdenního chodu koncentrací benzo(a)pyrenu

Cílem kapitoly je zjistit závislost koncentrace benzo(a)pyrenu na týdenním chodu. Je zjištěno, jak velký vliv má doprava na celkových koncentracích benzo(a)pyrenu.

Tabulka 1 – Koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m^3] podle dnů v týdnu

Den v týdnu	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
Pondělí	126	0.10	2.90	6.40	12.00	92.00
Úterý	119	0.10	2.80	6.40	15.80	63.40
Středa	128	0.00	2.48	6.40	12.03	48.00
Čtvrtek	121	0.30	2.40	6.20	13.00	42.00
Pátek	120	0.10	1.78	5.20	11.18	51.00
Sobota	120	0.00	2.58	6.45	13.93	54.00
Neděle	116	0.20	2.55	5.55	12.00	50.00



Graf 9 - Závislost koncentrací benzo(a)pyrenu [ng/m^3] na dnech v týdnu

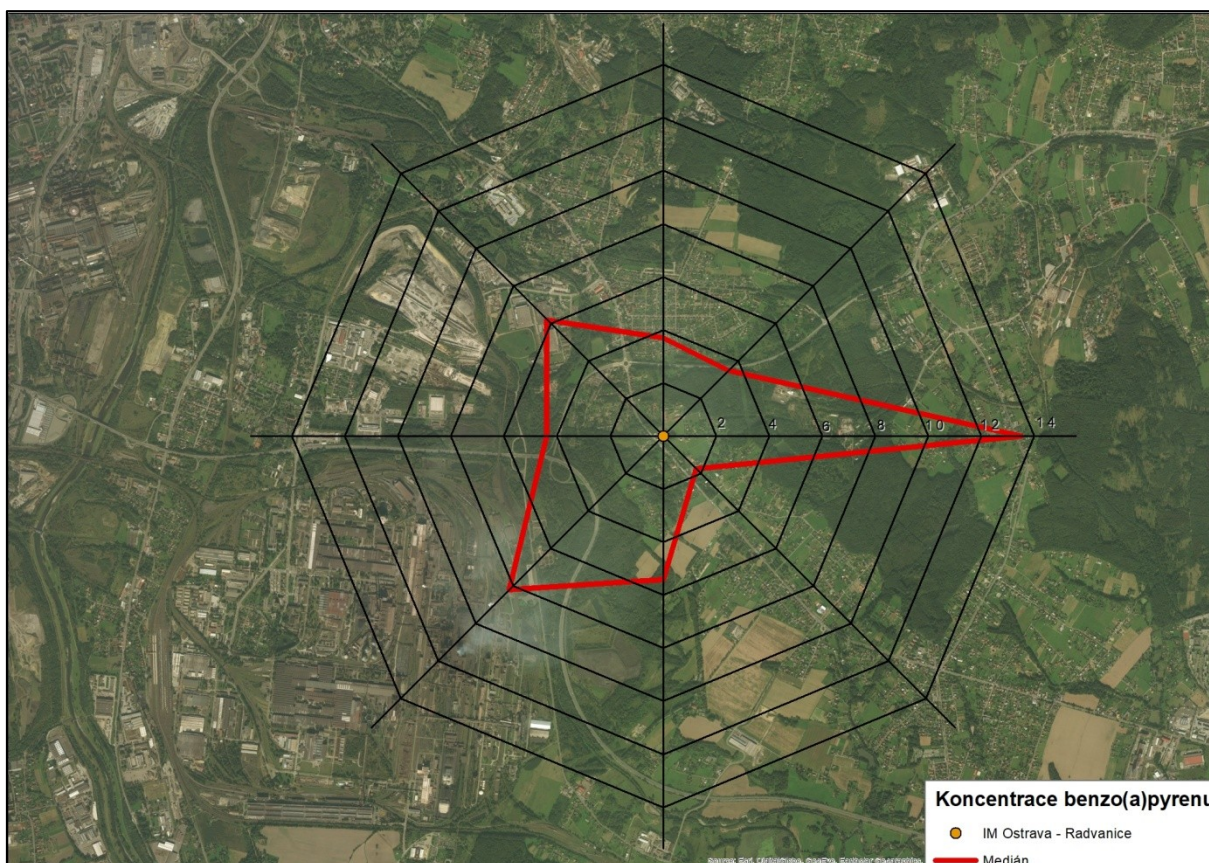
Z grafu je viditelné, že hodnoty koncentrací benzo(a)pyrenu se v průběhu týdne příliš nemění. Nejvyšší koncentrace je dosahováno ve čtvrtek, naopak nejnižší hodnoty je v sobotu. Po provedení lineární regrese vlivu dopravy na koncentraci benzo(a)pyrenu je zjištěna slabá korelace 0,41. Doprava se podílí na celkových koncentracích z 42% (2,58 ng/m³).

9.3 Analýza závislosti koncentrací benzo(a)pyrenu na směru větru

Cílem této kapitoly je zjistit, jak velký vliv má na koncentrace benzo(a)pyrenu směr větru. Dále je určeno, z jakého směru je dosaženo nejvyšší hodnoty koncentrace benzo(a)pyrenu.

Tabulka 2 – Koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m³] vzhledem ke směru větru

Směr větru	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
S	201	0.10	1.10	3.70	10.00	92.00
SV	88	0	1.08	3.50	9.70	53.00
V	10	2.00	4.65	13.50	18.08	40.00
JV	8	0.20	0.48	1.75	3.45	5.10
J	36	0.80	1.86	5.40	9.03	21.00
JZ	411	0	4.40	8.20	15.00	63.40
Z	51	0.20	2.40	4.40	6.65	49.00
SZ	45	0.10	1.80	6.20	15.00	42.00



Obrázek 6- Závislost koncentrací benzo(a)pyrenu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na směru větru

Z obrázku vyplývá, že nejvyšších koncentrací je dosahováno z východního směru. Zvýšené hodnoty koncentrací benzo(a)pyrenu jsou také v jihozápadním a severozápadním směru. Výsledky ovšem nejsou reprezentativní, z důvodů malého počtu naměřených hodnot v jednotlivých směrech větru.

9.4 Diskuse analýz benzo(a)pyrenu

Z analýzy, která se zabývá změnou koncentrace benzo(a)pyrenu po jednotlivých letech vyplývá, že od roku 2006 až po rok 2008 klesají koncentrace o $5 \text{ ng}/\text{m}^3$. V roce 2009 a 2010 se koncentrace benzo(a)pyrenu příliš nemění. Naopak v roce 2011 je viditelný nárůst koncentrací o $2,6 \text{ ng}/\text{m}^3$ oproti roku 2010. V tomto roce je viditelný nárůst třetího kvartilu, který odpovídá lokálním topeništím. V následujících letech se koncentrace příliš nemění.

Provedením analýzy vlivu týdenního chodu na koncentracích benzo(a)pyren je viditelné, že se koncentrace v průběhu týdne příliš nemění. Nejvyšších koncentrací je dosaženo ve čtvrtek. Naopak nejnižší koncentrace je v sobotu. Z regresní analýzy je zjištěna korelace 0,41, proto je provedena závislost vlivu dopravy na koncentracích benzo(a)pyrenu.

Výsledný podíl dopravy na koncentracích je 42% tzn., že se podílí na 2,58 ng/m³ z celkových koncentracích.

Z výsledků analýzy závislosti koncentrací benzo(a)pyrenu na směr větru je patrné, že nejvyšších hodnot koncentrací je dosaženo z východního směru. Výsledky ovšem nejsou reprezentativní, z důvodů malého počtu naměřených hodnot v jednotlivých směrech větru.

10 Výsledky analýzy hlavních komponent

Na datech z imisní monitorovací stanice Ostrava Radvanice ZÚ byla provedena analýza hlavních komponent (principal component analysis) PCA.

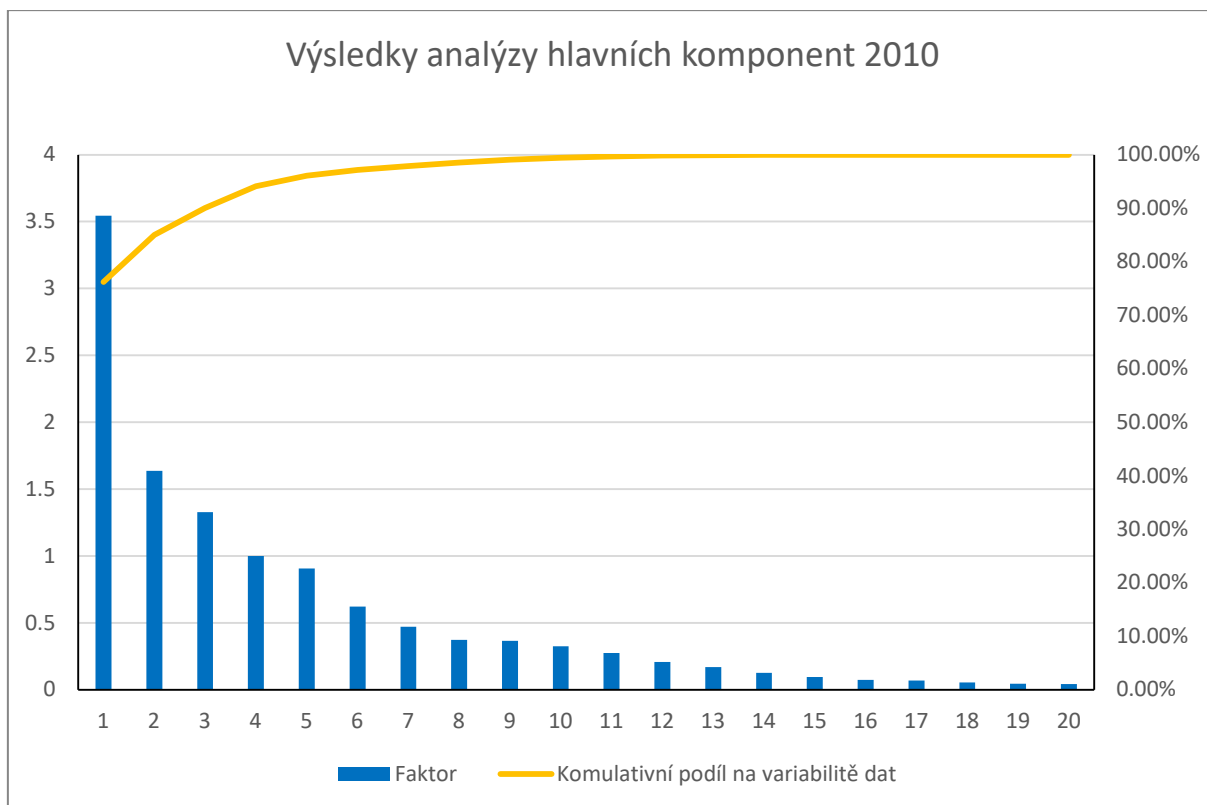
K analýze byla použita data z let 2010, 2013 a 2016. Ta poté byla zpracována ve statistickém softwaru R. Výsledky jednotlivých analýz jsou uvedeny v následujících kapitolách.

10.1 Výsledek PCA za rok 2010

V tabulce jsou uvedeny výsledky PCA z roku 2010. Ve sloupcích jsou zapsány vypočtené faktory, vlastní čísla, podíl na variabilitě dat a kumulativní podíl na variabilitě dat. Z výsledků vyplývá, že pro danou oblast jsou důležité 4 faktory, které představují nejdůležitější zdroje znečištění. U prvních čtyř faktorů je hodnota vlastního čísla větší nebo se blíží 1. Výsledky s tabulky 17 jsou znázorněny pro lepší představu v grafu 10.

Tabulka 17 - Výsledky PCA za rok 2010

Faktor	Vlastní číslo	Podíl na variabilitě dat [%]	Kumulativní podíl na variabilitě dat [%]
1	3.5447	62.82%	76.22%
2	1.6368	13.40%	85.04%
3	1.32795	8.82%	90.03%
4	0.99983	5.00%	94.13%
5	0.9053	4.10%	96.07%
6	0.62226	1.94%	97.17%
7	0.47014	1.11%	97.87%
8	0.37253	0.69%	98.53%
9	0.36452	0.66%	99.06%
10	0.32534	0.53%	99.44%
11	0.27489	0.38%	99.65%
12	0.20653	0.21%	99.87%
13	0.16805	0.14%	99.92%
14	0.1262	0.08%	99.95%
15	0.09455	0.05%	99.97%
16	0.07422	0.03%	99.98%
17	0.06768	0.02%	99.99%
18	0.05281	0.01%	100.00%
19	0.0447	0.01%	100.00%
20	0.04091	0.01%	100.00%



Graf 10- Grafické znázornění výsledků PCA za rok 2010

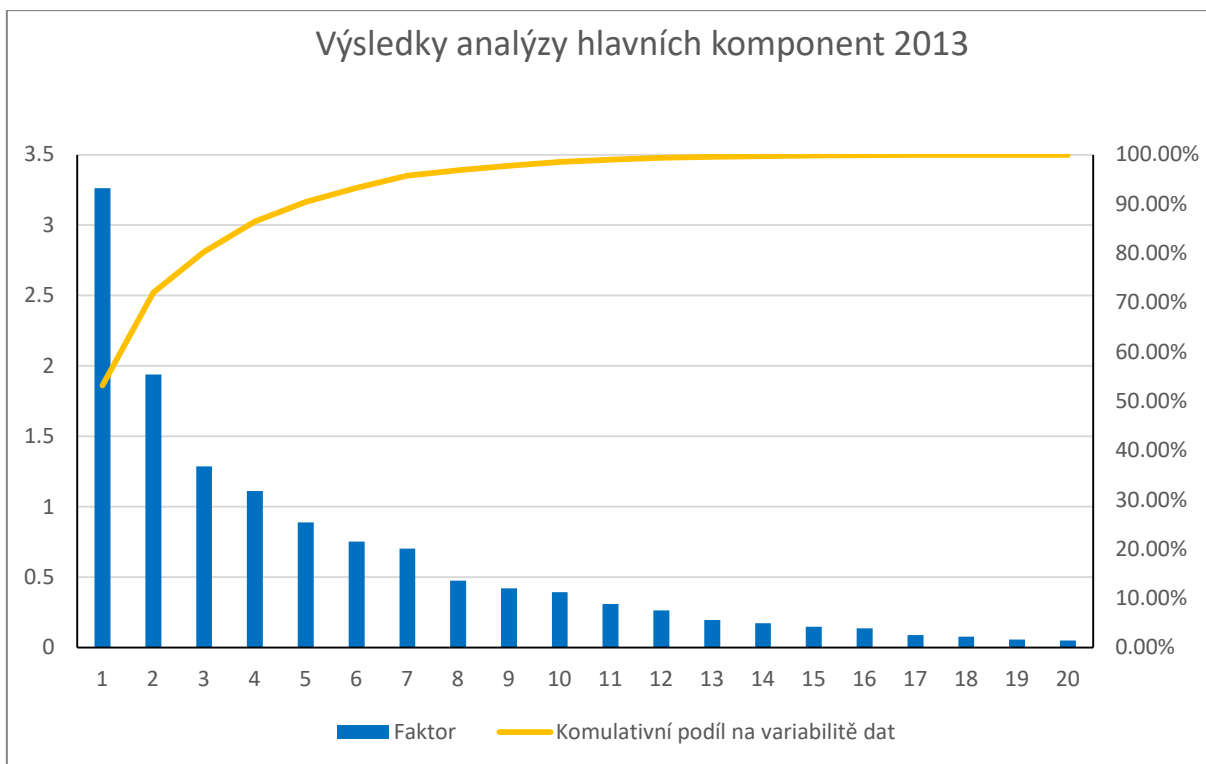
V grafu 10 je znázorněna závislost faktoru na směrodatné odchylce a kumulativní variabilitě. Je patné, že nejvyšší směrodatné odchylky dosahují faktory 1 až 5, u ostatních faktorů je viditelná malá směrodatná odchylka. Z hlediska závislosti. Kumulativní variability na faktory je patné, že se zvyšujícím se faktorem dochází k nárůstu kumulativní variability až do 100 %

10.2 Výsledek PCA za rok 2013

V tabulce jsou zobrazeny hodnoty, které vyšly z PCA analýzy v roce 2013. V jednotlivých sloupcích jsou uvedeny faktory, vlastní čísla, podíl na variabilitě dat a kumulativní podíl na variabilitě dat. Z vypočtených hodnot vyplývá, že pro imisní stanici jsou důležité 4 faktory, které představují nejdůležitější zdroje znečištění. U prvních čtyř faktorů je hodnota vlastního čísla větší než 1. Výsledky s tabulky 18 jsou znázorněny pro lepší představu v grafu 11.

Tabulka 3 - Výsledky PCA za rok 2013

Faktor	Vlastní číslo	Podíl na variabilitě dat [%]	Kumulativní podíl na variabilitě dat [%]
1	3.2628	53.23%	53.23%
2	1.9394	18.81%	72.04%
3	1.28638	8.27%	80.31%
4	1.11099	6.17%	86.48%
5	0.88797	3.94%	90.42%
6	0.75308	2.84%	93.26%
7	0.7037	2.48%	95.74%
8	0.47558	1.13%	96.87%
9	0.42159	0.89%	97.75%
10	0.39311	0.77%	98.53%
11	0.3099	0.48%	99.01%
12	0.26495	0.35%	99.36%
13	0.19546	0.19%	99.55%
14	0.1734	0.15%	99.70%
15	0.14733	0.11%	99.81%
16	0.13647	0.09%	99.90%
17	0.0893	0.04%	99.94%
18	0.07675	0.03%	99.97%
19	0.05786	0.02%	99.99%
20	0.05056	0.01%	100.00%



Graf 11 - Grafické znázornění výsledků PCA za rok 2013

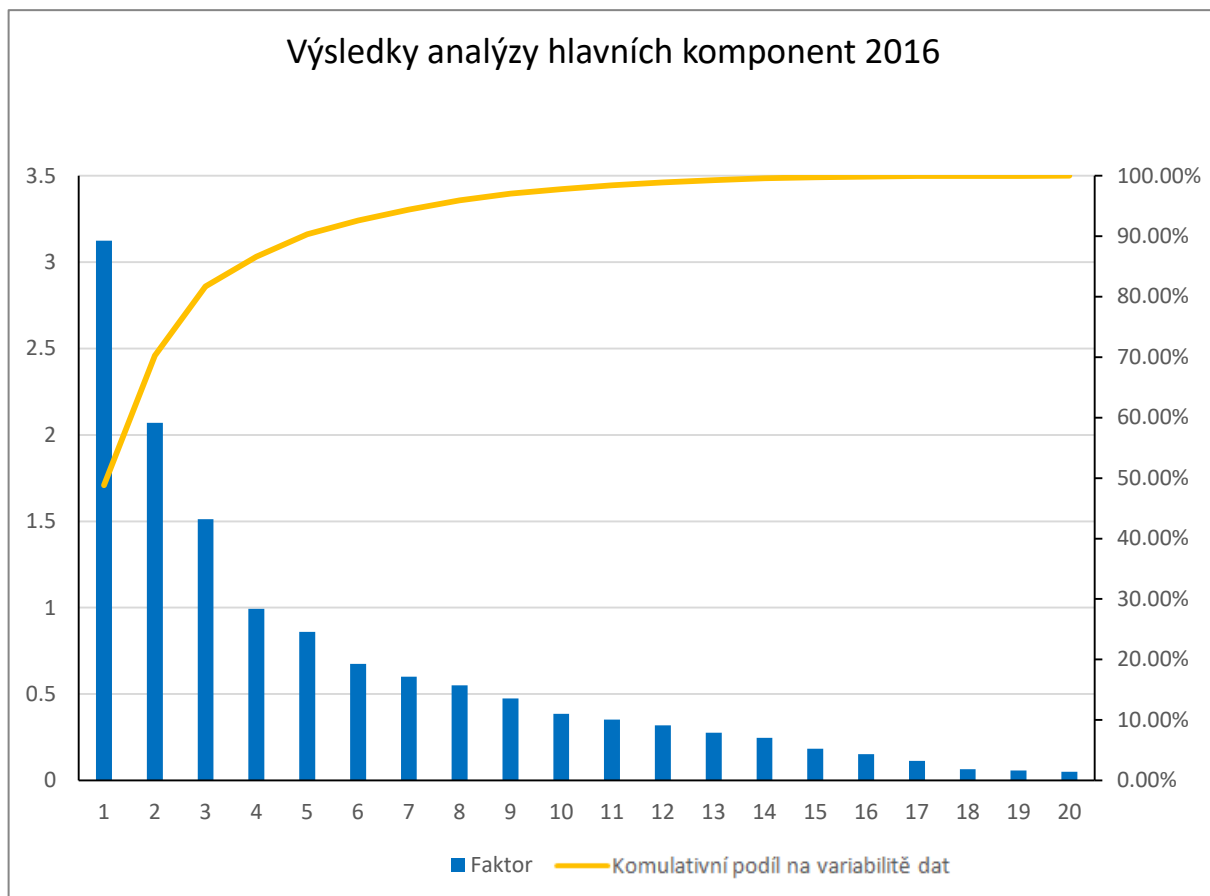
Z grafu 14 je dobře viditelné, že nejvyšší směrodatnou odchylku dosahují faktory 1 až 4, u ostatních faktorů je viditelná malá směrodatná odchylka. Z hlediska závislosti kumulativní variability na faktorech je patrné, že se snižujícím se faktorem dochází k nárůstu kumulativní variability až do 100 %

10.3 Výsledek PCA za rok 2016

V tabulce jsou uvedeny výsledky PCA analýzy z roku 2016. Ve sloupcích jsou zapsány vypočtené faktory, vlastní čísla, dále je uveden podíl na variabilitě dat a kumulativní podíl na variabilitě dat. Z výsledků vyplývá, že pro danou oblast jsou důležité 4 faktory, které představují nejdůležitější zdroje znečištění. U prvních čtyř faktorů je hodnota vlastního čísla větší nebo se blíží 1. Výsledky s tabulky 19 jsou znázorněny pro lepší představu v grafu 12.

Tabulka 19 - Výsledky PCA za rok 2016

Faktor	Vlastní číslo	Podíl na variabilitě dat [%]	Kumulativní podíl na variabilitě dat [%]
1	3.12530	48.84%	48.84%
2	2.06950	21.41%	70.25%
3	1.51260	11.44%	81.69%
4	0.99315	4.93%	86.62%
5	0.86067	3.70%	90.33%
6	0.67427	2.27%	92.60%
7	0.59971	1.80%	94.40%
8	0.55140	1.52%	95.92%
9	0.47530	1.13%	97.05%
10	0.38605	0.75%	97.79%
11	0.35188	0.62%	98.41%
12	0.31796	0.51%	98.92%
13	0.27534	0.38%	99.30%
14	0.24696	0.31%	99.60%
15	0.18329	0.17%	99.77%
16	0.15282	0.12%	99.89%
17	0.11236	0.06%	99.95%
18	0.06573	0.02%	99.97%
19	0.05668	0.02%	99.99%
20	0.04992	0.01%	100.00%



Graf 12 - Grafické znázornění výsledků PCA za rok 2016

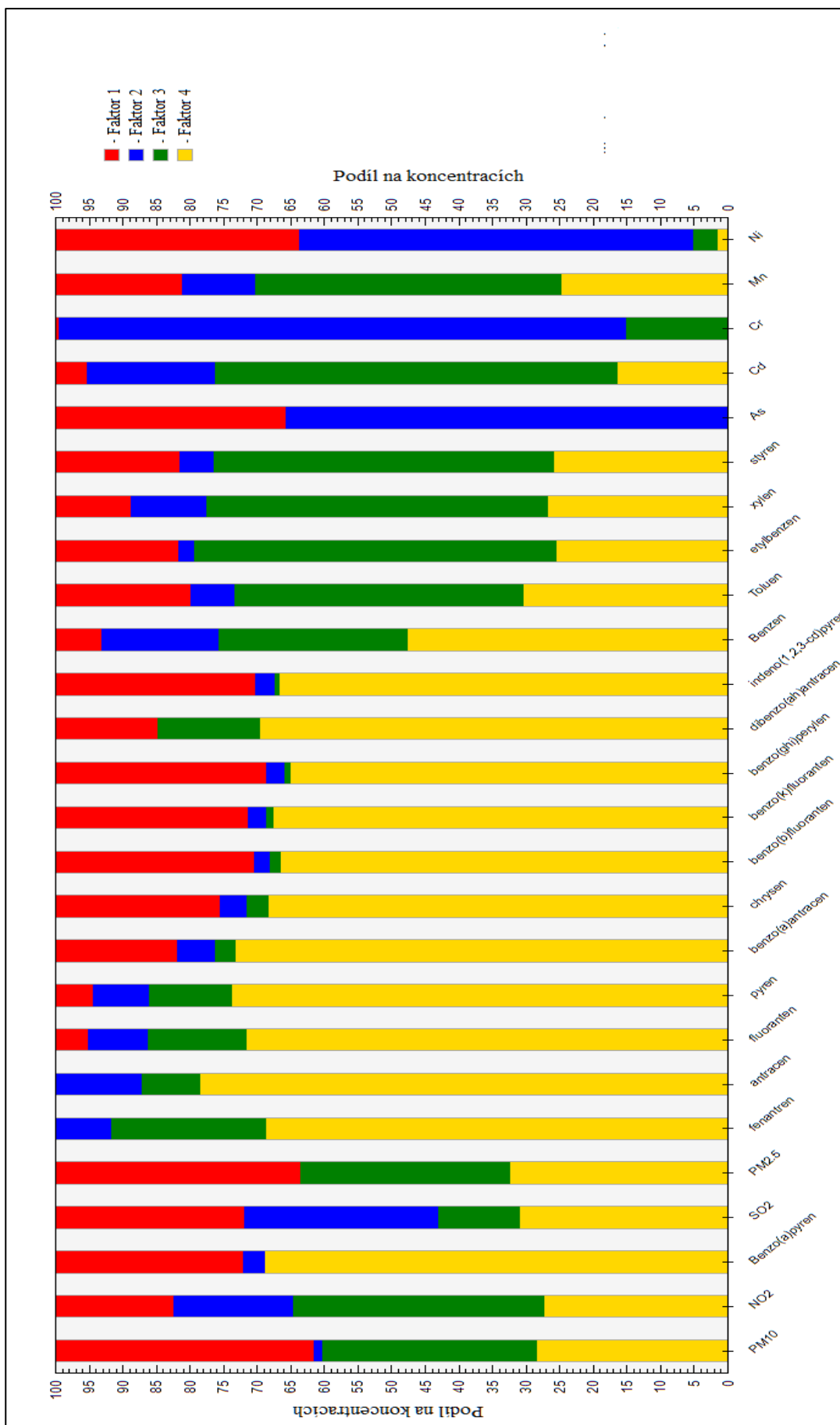
Z grafu 15 je viditelná závislost faktoru na měnících se hodnotách směrodatné odchylky a kumulativní variability. Z hodnot vyplývá, že nejvyšší směrodatnou odchylku dosahují faktory 1 až 5, u ostatních faktorů je viditelná menší směrodatná odchylka. Z hlediska závislosti kumulativní variability na faktory je patrné, že se snižujícím se faktorem dochází k nárůstu kumulativní variability až do 100 %.

11 Výsledky analýz PMF

V následujících kapitolách jsou zobrazeny výsledky analýz pomocí Positive Matrix Factorization (PMF), které byly provedeny pro roky 2010, 2013 a 2016. Výsledky jsou zobrazeny v obrázcích, ve kterých jsou vyjádřeny v podílech vlivu jednotlivých faktorů (zdroje znečištění) na koncentrace znečišťujících látek. Dále byly vytvořeny grafy pro látky, kterými se hlavně zabývám v diplomové práci (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyren) v závislosti na podílech, jakými se jednotlivé zdroje podílejí na jejich celkových koncentracích.

11.1 Výsledek PMF analýzy pro rok 2010

Tato kapitola se zabývá výsledky PMF analýz pro rok 2010. Je zjištěno, jakým způsobem se hlavní čtyři zdroje znečištění (určené pomocí PCA) podílejí na koncentracích jednotlivých znečišťujících látek.

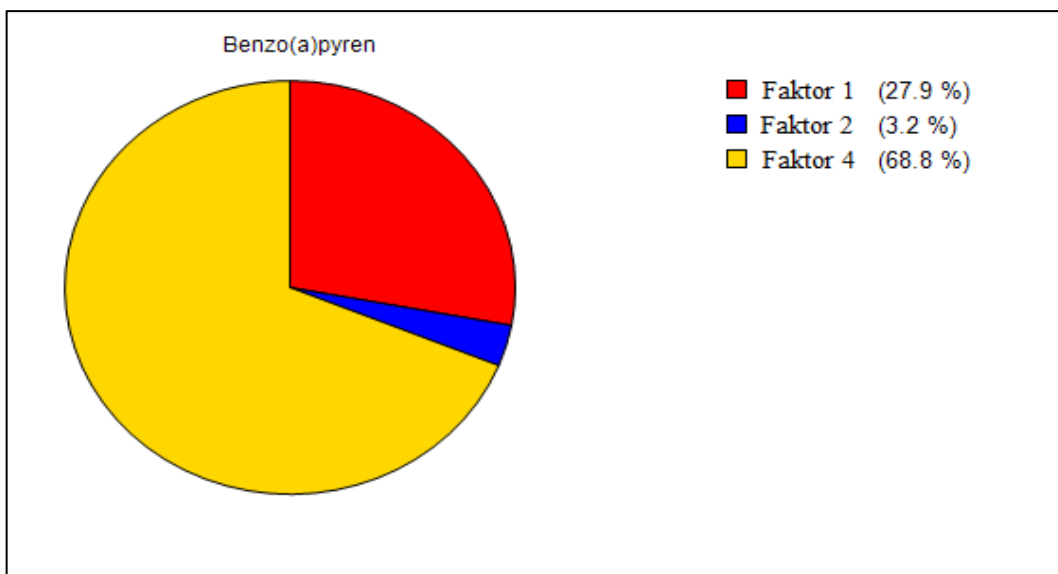


Obrázek 4- Výsledek PMF pro rok 2010

Na obrázku 4 jsou zobrazeny výsledky PMF za rok 2010. Jedná se o podíly vlivu faktorů na celkové koncentrace jednotlivých znečišťujících látek, přičemž se předpokládá, že vliv na koncentrace jednotlivých látek mají 4 faktory, jak bylo určeno pomocí PCA. Těmito čtyřmi faktory (zdroji znečištění) jsou:

- Faktor 1 (červený) byl určen jako neprůmyslové zdroje. To znamená, že se na koncentracích podílí doprava a lokální topeniště. Bylo tak usouzeno z důvodů vyšších koncentrací NO_2 , které jsou charakteristické pro dopravu. Koncentrace SO_2 , PM_{10} a polyaromatických uhlovodíků (PAU) jsou nejspíše způsobeny lokálními topeništi.
- Faktor 2 (modrý) byl identifikován jako ocelárna. Lze takto usuzovat z vyšších koncentrací těžkých kovů a uhlovodíků. Zvýšená koncentrace PM_{10} může být způsobena úpravou rudy.
- Faktor 3 (zelený) byl posouzený jako aglomerace rud. Lze tak usuzovat z vyšších koncentrací PM_{10} a SO_2 . Koncentrace SO_2 jsou nejspíše způsobeny vysokými pecemi. Dále bylo dosaženo zvýšených koncentrací PAU a těžkých kovů, což odpovídá právě aglomeraci.
- Faktor 4 (žlutý) byl z důvodů vysoké zastoupení koncentrací benzo(a)pyrenu určen, jako koksovna. Kromě benzo(a)pyrenu, jsou také typické pro koksovnu zvýšené koncentrace PM_{10} a polyaromatických uhlovodíků (antracen, fenantren, benzo(a)pyren, atd.).

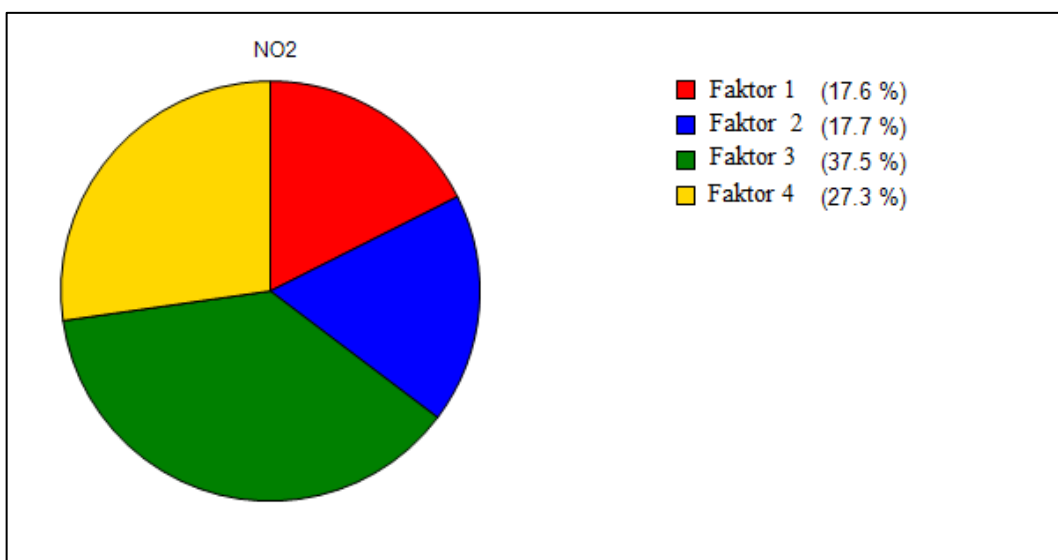
V následujících obrazech je popsáno, jak jednotlivé faktory ovlivňují koncentrace látek, kterými se zabývám především v mé diplomové práci (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyren).



Obrázek 5 – Zdroje benzo(a)pyrenu za rok 2010

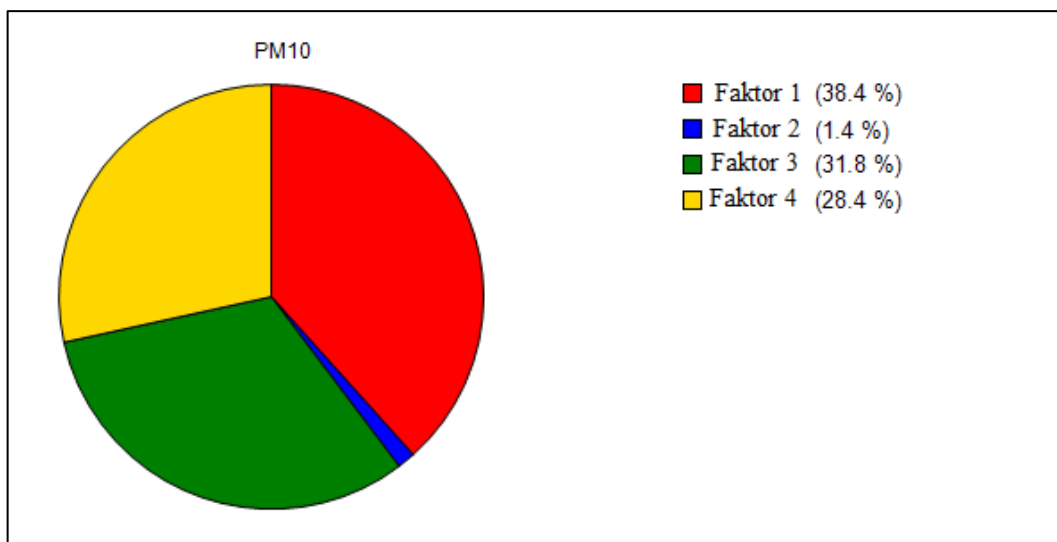
Z obrázku číslo 5 je viditelné, že hlavním zdrojem benzo(a)pyrenu je koksovna, která se podílí na celkových emisích z 69%. Dalšími zdroji jsou neprůmyslové zdroje (28%) a ocelárna (3%).

;



Obrázek 6 – Zdroje NO₂ za rok 2010

Na obrázku 6 je viditelné, že hlavním zdrojem NO₂ jsou neprůmyslové zdroje (38%), kromě neprůmyslových zdrojů se podílí ve větší míře na celkových emisích koksovna (27%). Aglomerace a ocelárna se podílejí stejnou měrou.

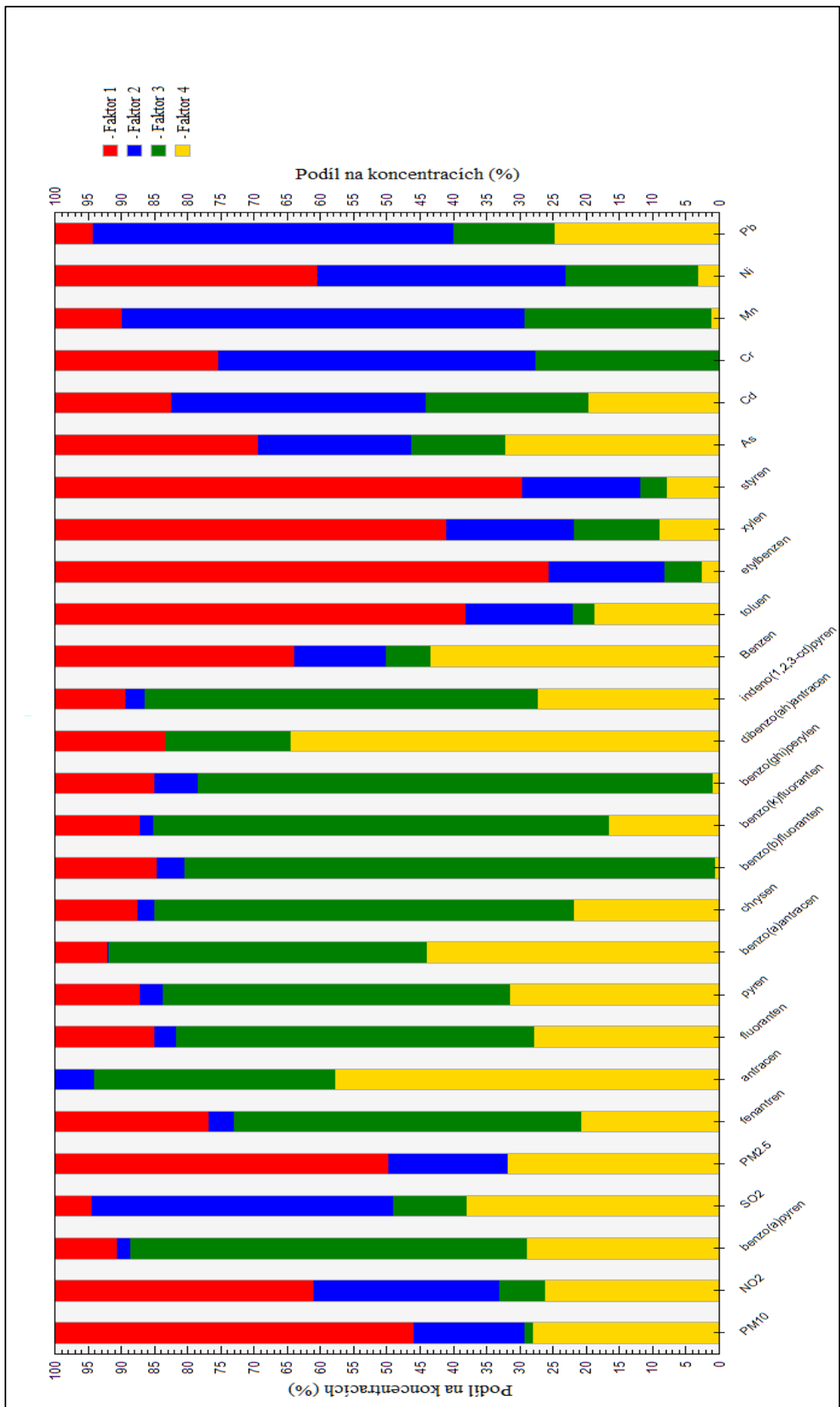


Obrázek 7 – Zdroje PM_{10} za rok 2010

Z obrázku 7 je dobře patrné, že hlavní vliv na koncentrace PM_{10} mají neprůmyslové zdroje, v tomto případě můžeme usuzovat, že hlavní příčinou jsou lokální topeniště. Kromě neprůmyslových zdrojů se podílí na celkových koncentracích ve větší míře koksovna (28%) a aglomerace (31%).

11.2 Výsledek PMF pro rok 2013

Cílem této kapitoly je popsat výsledky PMF analýz za rok 2013. K popisu se využívá obrázků s procentuálním zastoupením faktorů pro jednotlivé znečišťující látky. Dále je sledován vliv faktorů na látky (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyren).

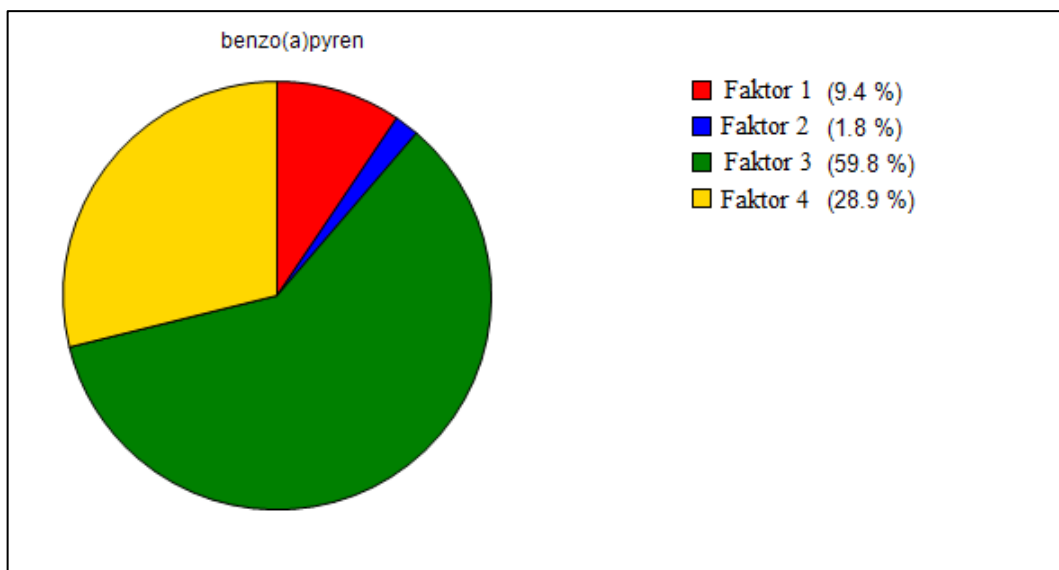


Obrázek 8 - Výsledek PMF pro rok 2013

Z obrázku 8 je viditelné, jak se jednotlivé zdroje znečištění podílí na celkových koncentracích jednotlivých látek, které se měřily v roce 2013 na imisní stanici Ostrava Radvanice. Z výsledků PCA analýzy jsme určili, že v dané oblasti jsou čtyři významné faktory (zdroje znečištění):

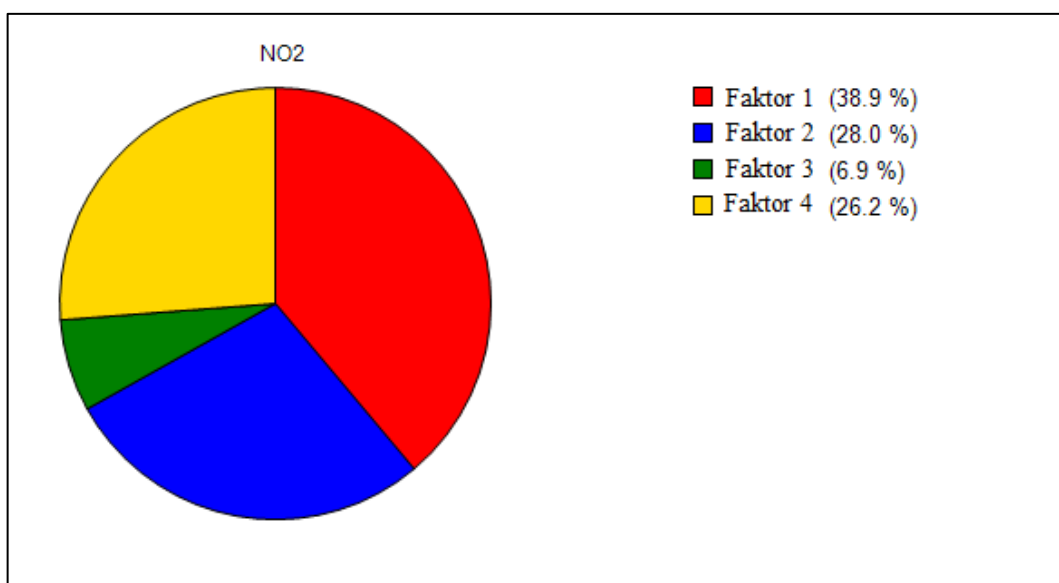
- U faktoru 1 (červený) bylo dle koncentrací jednotlivých látek určeno, že se jedná o neprůmyslový zdroj. Lze tak usuzovat z vyšších hodnot koncentrací NO_2 , jenž jsou typické pro dopravu. Koncentrace polyaromatických uhlovodíků (PAU), SO_2 a PM_{10} odpovídají lokálním topeništím.
- Faktor 2 (modrý) byl určen jako ocelárna. Tomuto tvrzení odpovídají zvýšené koncentrace těžkých kovů a uhlovodíků (benzen, toluen, atd.). Zvýšené hodnoty koncentrací PM_{10} mohou být způsobeny úpravou rudy.
- Faktor 3 (zelený) byl určen jako koksovna. Bylo tak posouzeno z důvodů vyššího procentuálního zastoupení koncentrací benzo(a)pyrenu. Dalšími charakteristickými znečišťujícími látkami pro koksovnu jsou polyaromatické uhlovodíky (PAU) i suspendované prachové částice (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$).
- Faktor 4 (žlutý) byl identifikován jako aglomerace rud. Lze tak usuzovat z vyšších koncentrací PM_{10} a SO_2 . Koncentrace SO_2 jsou nejspíše způsobeny vysokými pecemi. Dále bylo dosaženo určitých koncentrací PAU a těžkých kovů, což odpovídá právě aglomeraci.

Jak jednotlivé faktory ovlivňují koncentrace látek, kterými se zabývám v mé diplomové práci především, je uvedeno v následujících obrazech. V nich je vyjádřeno procenty, jakým způsobem se jednotlivé faktor, podílí na výsledných koncentracích.



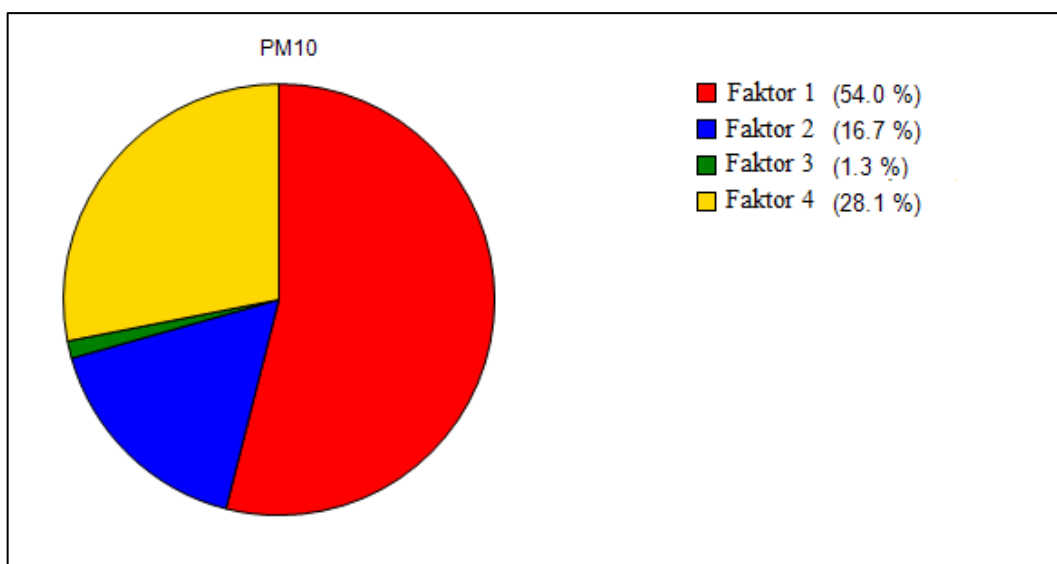
Obrázek 9 – Zdroje benzo(a)pyrenu za rok 2013

Na obrázku 9 je vyjádřeno, jakým způsobem se jednotlivé faktory (zdroje znečištění) podílejí na celkových koncentracích benzo(a)prenu. Z obrázku je patrné, že na celkových emisích se především podílí koksovna (60%). Dalšími zdroji jsou aglomerace rud (29%), ocelárna a doprava.



Obrázek 10 – Zdroje NO₂ pro rok 2013

Z obrázku 10 je patrné, že hlavním zdrojem NO₂ je doprava (39%), kromě ní se na celkových emisích podílejí aglomerace rud (26%), ocelárna (28%) a koksovna.

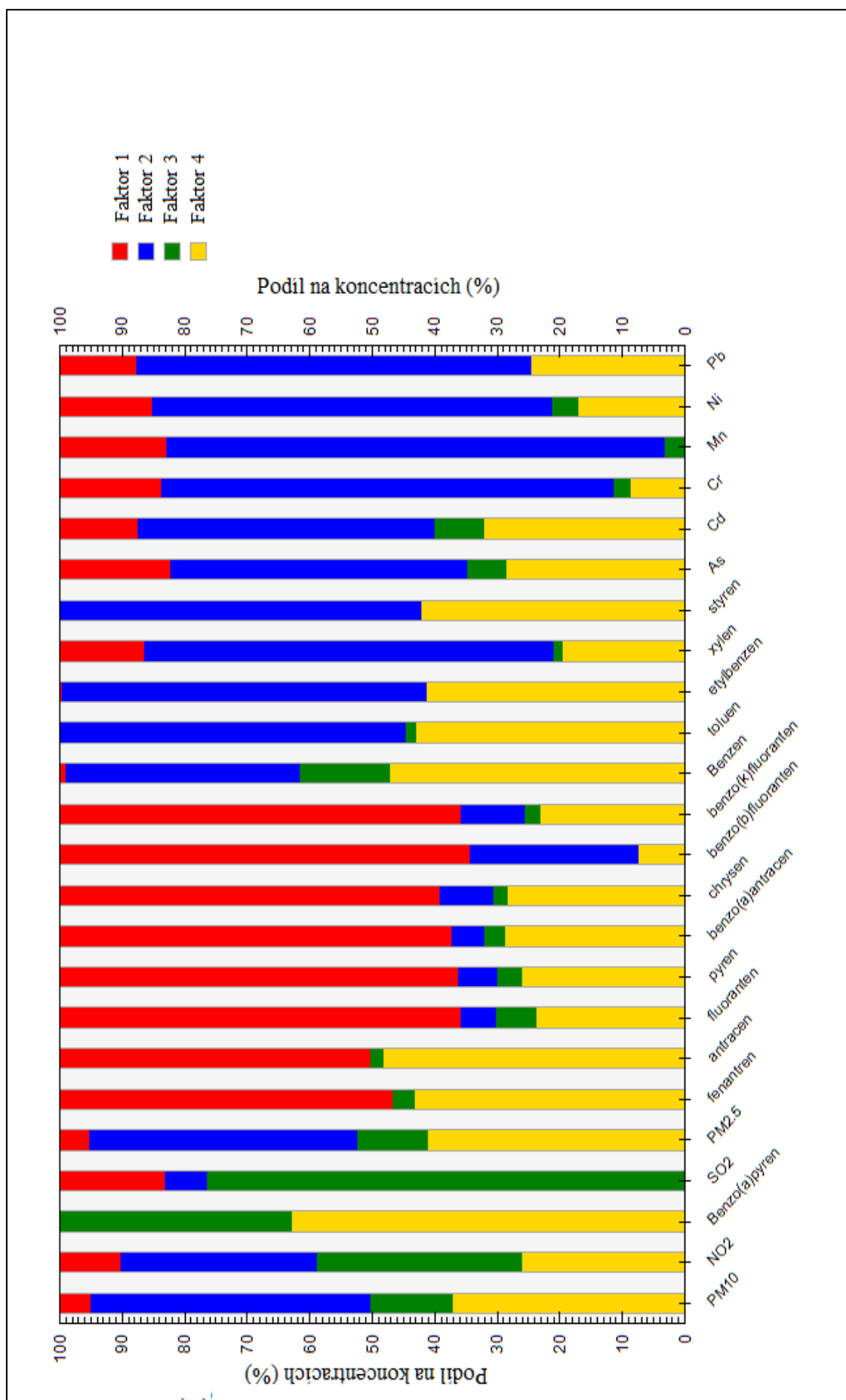


Obrázek 11 – Zdroje PM_{10} za rok 2013

Po provedení PMF analýzy je patrné, že na celkových emisích PM_{10} , viz obrázek 11, se podílí především neprůmyslový zdroj (54%), dá se předpokládat, že se jedná o lokální topeniště. Ostatními zdroji jsou aglomerace rud (28%), ocelárna (17%) a koksovna.

11.3 Výsledek PMF pro rok 2016

Hlavním cílem kapitoly je určit s pomocí obrázků výsledky PMF za rok 2016. Využívá se obrázku s procentuálním zastoupením faktorů pro jednotlivé znečišťující látky. Dále je sledován vliv faktorů na znečišťující látky (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyrenu).

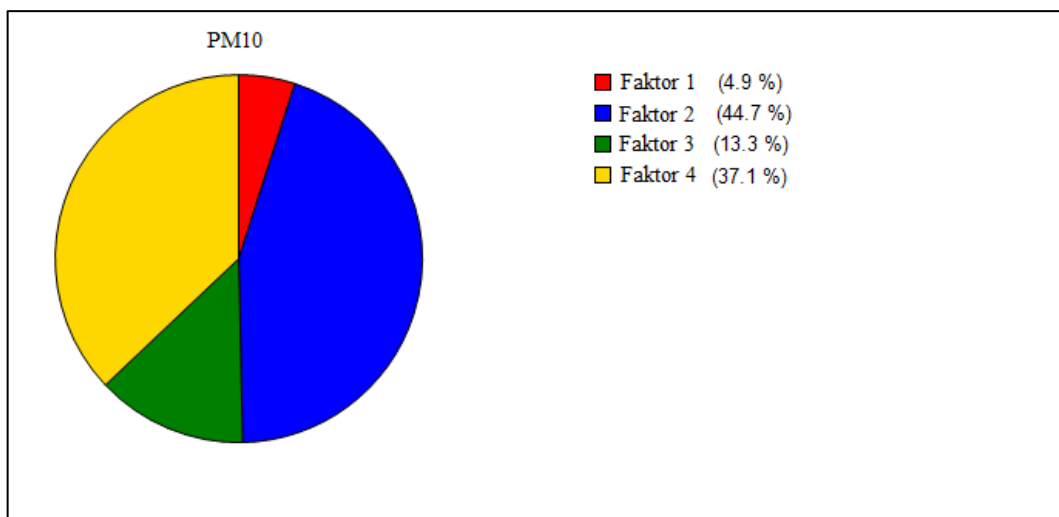


Obrázek 12 - Výsledek PMF pro rok 2016

Obrázek 12 popisuje výsledky PMF pro rok 2016. Je na něm zobrazena závislost koncentrací na jednotlivých faktorech (zdrojích znečištění). Z PCA byly identifikované čtyři významné druhy znečištění (faktory), kterými jsou:

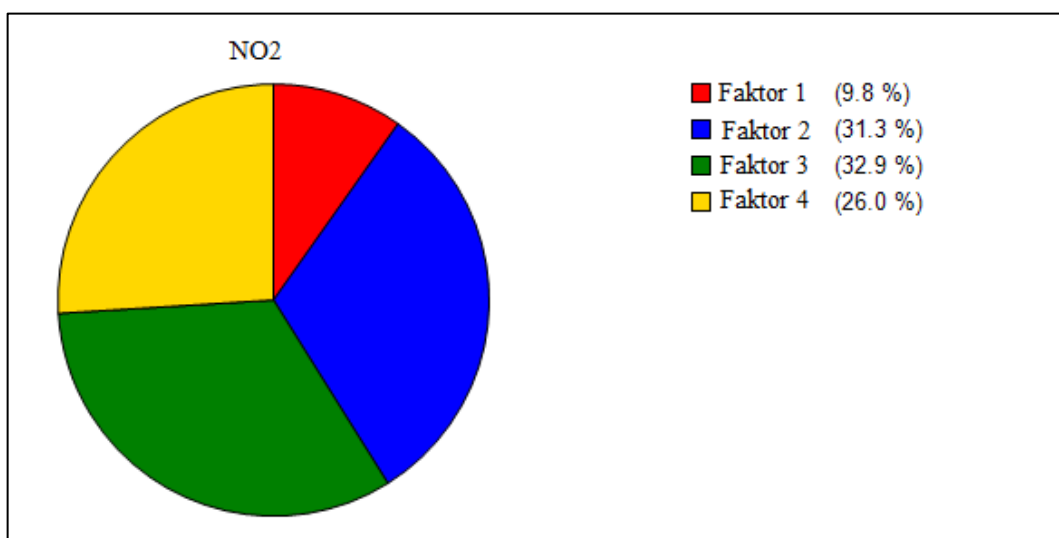
- Faktor 1 (červený) byl z důvodů vyšší hodnoty koncentrace benzo(a)pyrenu určen, jako koksovna. Kromě benzo(a)pyrenu, jsou charakteristické pro koksovnu zvýšené hodnoty koncentrací PM_{10} , PAU (antracen, fenantren, benzo(a)pyren, atd.). byl posouzený jako
- Faktor 2 (modrý) byl posouzen jako ocelárna. Byl takto určen, z důvodů vyšších koncentrací těžkých kovů a uhlovodíků. Zvýšené koncentrace PM_{10} by mohla být způsobena úpravou rudy.
- Faktor 3 (zelený) byl identifikován jako aglomerace rudy. Bylo tak usouzeno kvůli vyšším koncentracím SO_2 , PM_{10} a polyaromatických uhlovodíků. Zvýšené koncentrace SO_2 mohou být způsobeny vysokými pecemi. PAU naopak odpovídají právě aglomeraci.
- Faktor 4 (žlutý) byl určen jako neprůmyslový zdroj. Lze tak usuzovat z vyšších koncentrací NO_2 , SO_2 a PAU. Koncentrace NO_2 jsou typické pro dopravu. Zvýšené koncentrace PAU a SO_2 lze přisuzovat lokálním topeništím.

Zastoupení jednotlivých látek, kterými se zabývám především v mé diplomové práci (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyren) pro jednotlivé faktory jsou popsány v následujících obrázcích.



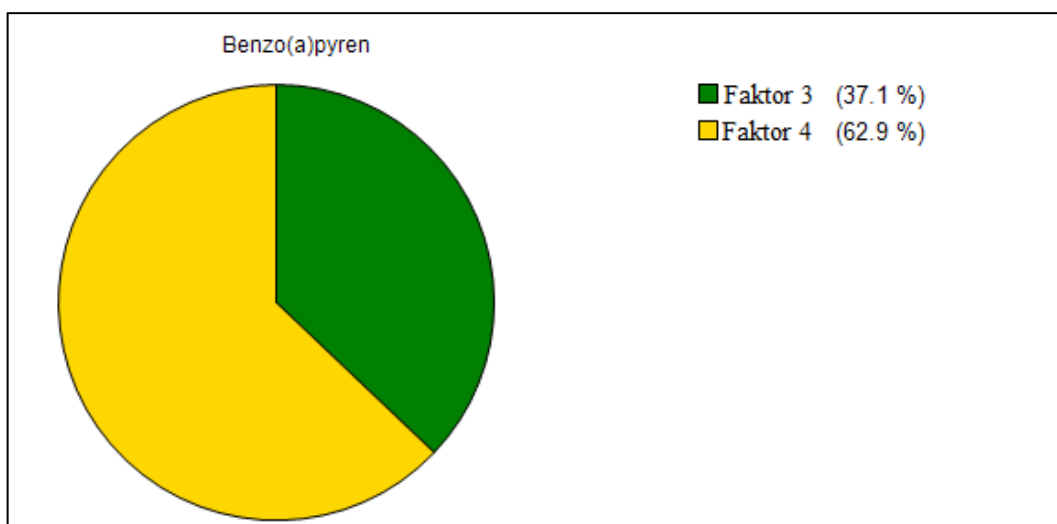
Obrázek 13 – Zdroje PM₁₀ za rok 2016

Z obrázku 13 vyplývá, že největší množství koncentrací vzniká v ocelárně (44,7%). Naopak nejméně se na celkových koncentracích PM₁₀ podílí neprůmyslové zdroje (5%).



Obrázek 14 – Zdroje NO₂ za rok 2016

Z obrázku 14 je viditelné, že hlavním zdrojem koncentrací NO₂ je aglomerace rud (33%). Druhým významným zdrojem je ocelárna (31%), následují neprůmyslové zdroje (26%) a koksovna (10%).



Obrázek 15– Zdroje benzo(a)pyrenu za rok 2016

Z obrázku 15 vyplývá, že koncentrace benzo(a)pyrenu jsou ovlivněny 2 zdroji znečištění. Významnější zdrojem je neprůmyslový zdroj, jenž se podílí z 63% na koncentracích, druhým zdrojem je aglomerace rud.

11.4 Diskuse výsledků PMF

Analýza PMF byla provedena v letech 2010, 2013 a 2016. Ve všech letech se k analýzám počítalo ze 4 zdroji znečištění (faktory), které byli vždy stejné a zjištěné z výsledků PCA. Jednalo se o neprůmyslový zdroj, koksovnu, aglomeraci rud a ocelárnu.

Z výsledků vyplývá, že v roce 2013 došlo ke změně rozložení hodnot koncentrací PM_{10} oproti roku 2010. Toto snížení odpovídá zavedení opatření na ArcelorMittalu, kde došlo k zavedení nových technologií, které napomohli ke snížení koncentrací PM_{10} . Naopak je patrný v roce 2013 nárůst koncentrací PM_{10} u neprůmyslových zdrojů, což je nejspíše způsobeno lokálními topeništi.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo s využitím statistických metod, zjistit jak se mění koncentrace znečišťujících látek (PM_{10} , NO_2 a benzo(a)pyrenu) v závislosti na jednotlivých letech, dnech v týdnu a směru větru. Dále byly provedeny analýzy hlavních komponent (PCA) a faktorové analýzy (PMF).

K analýzám byly využita data z imisní stanice Ostrava - Radvanice od roku 2005 do roku 2016. Vybrali jsme tuto stanici k analýzám z toho důvodu, že se nachází nedaleko od průmyslového zdroje ArcelorMittal, což mám za následek, že se na stanici měří velká škála znečišťujících látek, jenž lze využít k PMF analýzám.

Z analýzy změny koncentrací PM_{10} na jednotlivých letech vyšlo, že dochází k postupnému poklesu koncentrací. Jedná se o pokles $1,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok. Tento pokles koncentrací je silně korelovaný s poklesem tuhých emisí z ArcelorMittal Ostrava a zároveň i tuhými emisemi ze všech průmyslových zdrojů v Moravskoslezském kraji. Pomocí lineární regrese tak bylo možné vytvořit dva alternativní lineární modely závislosti tuhých emisí a koncentrací PM_{10} na imisní stanici. Výsledkem prvního modelu je, že pokles tuhých emisí ze zdrojů ArcelorMittal Ostrava o 100 t/rok vedl k poklesu koncentrací PM_{10} o $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Výsledkem druhého modelu je, že pokles tuhých emisí v Moravskoslezském kraji o 1000 t/rok vedl k poklesu koncentrací PM_{10} o $4,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. S těmito výsledky velmi dobře korespondují i výsledky závislosti koncentrací PM_{10} na dnech v týdnu, pomocí kterých lze odhadnout vliv automobilové dopravy. V případě PM_{10} byl tento vliv odhadnut na 20 %.

Z analýz pro NO_2 vyplývá, že jeho koncentrace dlouhodobě mírně klesají. Jedná se o pokles $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok. Závislost koncentrací NO_2 na dnech v týdnu ukazuje výrazně nižší koncentrace NO_2 během víkendů, což velice dobře odpovídá změnám intenzity automobilové dopravy. Tento závěr potvrdila i korelační analýza (korelační koeficient 0,89) a následná lineární umožnila odhadnout, že podíl automobilové dopravy na celkových koncentracích NO_2 je 69%. Tento výsledek velice dobře koresponduje s tím, že je jen velice slabá korelace mezi emisemi NO_x z ArcelorMittal Ostrava, resp. Moravskoslezského kraje a naměřených koncentrací NO_2 .

U analýz pro benzo(a)pyren bylo zjištěno, že se v průběhu let nemění. Výjimkou byly roky 2008 až 2010, kdy došlo k poklesu imisí, který velmi dobře koresponduje s omezením výroby v ArcelorMittal Ostrava z důvodů globální ekonomické recese. Rovněž nebyla

prokázána závislost koncentrací B(a)P na dnech v týdnu, což odpovídá tomu, že automobilová doprava není jeho významným zdrojem

Z analýz hlavních komponentů (PCA) v letech 2010, 2013 a 2016 byly zjištěny 4 hlavní faktory (zdroje znečištění). Tyto faktory byly pomocí PMF identifikovány jako koksovna, aglomerace rud, ocelárna a neprůmyslové zdroje. Výsledky PMF jsou v dobré shodě s předchozími výsledky, kdy jako dominantní zdroje B(a)P byly určeny koksovna a aglomerace rud. Zároveň je ve výsledcích PMF patrný pokles vlivu aglomerace rud na koncentracích PM₁₀, což velice dobře koresponduje s poklesem tuhých emisí z tohoto zdroje vlivem odprášení technologie, které proběhlo během studovaného období.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Chemie ovzduší*[online]. [cit. 2018-2-01].
Dostupné z:http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-80-708-5714
- [2] Bartusek, Stanislav. *Ochrana životního prostředí*, 1. vyd. VŠB – Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2569-4
- [3] *Vliv prachu v ovzduší na lidské zdraví* [online]. [cit. 2018-3-10].
Dostupné z:
<http://www.ecmost.cz/clanky/prezentace/Prach%20a%20zdravi%20SZU.pdf>
- [4] *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Vyd. 1. Editor Martin Braniš, Iva Hůnová. V Praze: Karolinum, 2009, 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.
- [5] OBROUČKA, Karel. *Ochrana ovzduší I: (zdroje a látky znečišťující ovzduší)*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola podnikání, 2003. ISBN 80-86764-00-1.
- [6] *Ochrana ovzduší*[online]. [cit. 2017-12-20].
Dostupné z: <https://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/ovzdusi/viden.htm>
- [7] Solcomhouse, *Air pollution*, [online]. [cit. 20.2.2018]
Dostupné z:http://www.solcomhouse.com/images/Air_pollution_pathways_textbox.gif
- [8] Air Toxics analysis workbook. Research Triangle Park, NC: US EPA, 2009.
Dostupná na http://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/workbook/T-Workbook_Secs1-8.pdf
- [9] OBROUČKA, Karel. *Látky znečišťující ovzduší*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-248-0011-1.
- [10] *Ochrana ovzduší* [online]. [cit. 2018-01-30].
Dostupné z:http://knc.czu.cz/~vachm/ovzdusi/ovzd_text.pdf
- [11] *Atmosféra Země*. In: *Astronomia*[online]. [cit. 2017-11-09].
Dostupné z: <http://planety.astro.cz/zeme/1943-atmosfera-zeme>
- [12] Státní zdravotní ústav. *Základy meteorologie pro aplikaci při řešení problému rozptylu znečišťujících látek v ovzduší* [online]. [cit. 2017-12-09].
Dostupné z:http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2007/kurs_ovzdusi_1/5_keder_zaklady_meteorologie.pdf

- [13] PM_x. In: *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2018-2-10].
Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/85>
- [14] *Smog* [online]. [cit. 2017-12-11].
Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-80-7080571-4
- [15] *Air pollution* [online]. [cit. 2018-3-15].
Dostupné z: <https://www3.epa.gov/airtrends/2010/report/airpollution.pdf>
- [16] *Outdoor air pollution* [online]. [cit. 2018-4-25].
Dostupné z: http://www.who.int/ceh/capacity/Outdoor_air_pollution.pdf
- [17] Logaritmicko-normální rozhraní [online]. [cit. 2018-4-10].
Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~dom033/predmety/statistika/ucebni_text/8SNV.pdf
- [18] BRIŠ, Radim a Martina LITSCHMANNOVÁ. *Statistika II* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2017-12-25]. ISBN 978-80-248-1482-7.
- [19] Zákon o ochraně ovzduší. In: 86. 2002.
Dostupné z: <http://www.esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=2012s201>
- [20] PAU. In: *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2017-11-30].
Dostupné z: https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/PAU_PAH.pdf
- [21] *Geoinformační technologie pro řízení kvality ovzduší*. 2003. Habilitační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [22] *Poletavý prach* [online]. [cit. 2017-11-30].
Dostupné z: b
[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/5BC8D18C9B814A6EC125772E00539B7A/\\$file/OVV-poletavy_prach-20100525.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/5BC8D18C9B814A6EC125772E00539B7A/$file/OVV-poletavy_prach-20100525.pdf)
- [23] Airquality guidelines - global update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. In: *World Health Organization* [online]. [cit. 2018-2-01].
Dostupné z: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

- [24] *Atmosféra* [online]. [cit. 2018-3-16].
Dostupné z: https://is.muni.cz/th/393815/prif_m/Prilohy-CD/Vyukova_prirucka_Atmosfera/UCEBNI_TEXT_ATMOSFERA.pdf
- [25] TAULER, R., et al. *Identification, Resolution and Apportionment of Contamination Sources*. Environmental Modelling, Software and Decision Support. 2009, 17, s. 269 - 284.
- [26] *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích* [online]. [cit. 2018-3-15].
Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP189.pdf>
- [27] *Zákony pro lidi. Předpis č. 201/2012 Sb.: Zákon o ochraně ovzduší* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [28] *Spear the air. Health effects* [online]. [cit. 2017-11-28].
Dostupné z: <http://www.sparetheair.com/health.cfm?page=healthoverall>
- [30] *Ověření zdrojů benzenu v severovýchodní části města Ostrava* [online]. [cit. 2018-3-12].
Dostupné z: http://www.cmes.cz/sites/default/files/Cernikovsky_benzen.pdf
- [31] Tauler, R., Patero, P., Hopke, P., Henry, R. C., Spiegelman, C., Park, E. S., Poirot R. S. 2006, W19 State of the art in methods and software for the identification, resolution and apportionment of contamination sources. International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA. [Online] [cit. 2017-12-22]
dostupný na: <http://www.iemss.org/iemss2006/papers/w9/pp.pdf>
- [32] *Faktorová analýza* [online]. [cit. 2018-1-12].
Dostupné z: https://is.muni.cz/www/98951/41610771/43823411/43823458/Analyza_a_hodnoc/44563155/00_Faktorova_analyza.pdf
- [33] *Analýza hlavních komponent* [online]. [cit. 2018-1-12].
Dostupné z: <https://meloun.upce.cz/docs/license/sylaby-predmetu/militky/pca.pdf>
- [34] *Přírozené znečištění ovzduší* [online]. [cit. 2018-1-2].

Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=55071

- [35] NO_x. In: *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2017-11-10].

Dostupné z: https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Oxidy_dusiku.pdf

- [36] Legislativa ovzduší. [online]. [cit. 2017-12-10].

Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_ovzdusi

- [37] CHRISTENSEN, William F.; SCHAUER, James J.; LINGWALL, Jeff W..
Iterated confirmatory factor analysis for pollution source apportionment.

Environmetrics. 2006, 17, s. 663-681.

- [38] UNMIX version 2 manual. US EPA, 2000. [online]. [cit. 2017-12-10].

dostupný na: <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/workshop/unmix2.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1- Vznik O_3 vlivem kosmického záření	3
Obrázek 2 - Teplotní gradient.....	16
Obrázek 3 – Poloha imisní monitorovací stanice Ostrava - Radvanice ZÚ	20
Obrázek 4- Výsledek PMF pro rok 2010.....	50
Obrázek 5 – Zdroje benzo(a)pyrenu za rok 2010	52
Obrázek 6 – Zdroje NO_2 za rok 2010	52
Obrázek 7 – Zdroje PM_{10} za rok 2010.....	53
Obrázek 8 - Výsledek PMF pro rok 2013.....	54
Obrázek 9 – Zdroje benzo(a)pyrenu za rok 2013	56
Obrázek 10 – Zdroje NO_2 pro rok 2013	56
Obrázek 11 – Zdroje PM_{10} za rok 2013.....	57
Obrázek 12 - Výsledek PMF pro rok 2016.....	58
Obrázek 13 – Zdroje PM_{10} za rok 2016.....	60
Obrázek 14 – Zdroje NO_2 za rok 2016	60
Obrázek 15 – Zdroje benzo(a)pyrenu za rok 2016	61

Seznam grafů

Graf 1 - Závislost koncentrací PM ₁₀ [μg/m ³] roku měření.....	25
Graf 2 - Trend koncentrací PM ₁₀ [μg/m ³]	25
Graf 3 - Závislost koncentrací PM ₁₀ [μg/m ³] na dnech v týdnu	27
Graf 4 - Závislost koncentrací NO ₂ [μg/m ³] roku měření	32
Graf 5- Trend mediánu koncentrací NO ₂ [μg/m ³].....	32
Graf 6 - Závislost koncentrací NO ₂ [μg/m ³] na dnech v týdnu	33
Graf 7 - Závislost koncentrací benzo(a)pyrenu [ng/m ³] na roku měření.....	38
Graf 8 - Trend mediánu koncentrací benzo(a)pyrenu [ng/m ³]	38
Graf 9 - Závislost koncentrací benzo(a)pyrenu [ng/m ³] na dnech v týdnu	39
Graf 10- Grafické znázornění výsledků PCA za rok 2010.....	44
Graf 11 - Grafické znázornění výsledků PCA za rok 2013	46
Graf 12 - Grafické znázornění výsledků PCA za rok 2016.....	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení znečišťujících látek v závislosti na chemickém složení	5
Tabulka 2 - Typy stanic imisního monitoringu	8
Tabulka 3 - Měřené látky.....	9
Tabulka 4 - Imisní limity PM ₁₀ a PM _{2,5}	12
Tabulka 5 - Intenzita dopravy podle TP189	23
Tabulka 6 - Závislost koncentrací z hlediska TP 189 na chodu dopravy	23
Tabulka 7 - Koncentrace PM ₁₀ [μg/m ³] v závislosti na dlouhodobém trendu.....	24
Tabulka 8 – Koncentrace PM ₁₀ [μg/m ³] v závislosti na týdenním chodu	26
Tabulka 9 – Koncentrace PM ₁₀ [μg/m ³] vzhledem ke směru větru.....	28
Tabulka 10- Výsledek korelací pro jednotlivé zdroje	29
Tabulka 11 – Koncentrace NO ₂ [μg/m ³] v závislosti na roku měření	31
Tabulka 12 – Koncentrace NO ₂ [μg/m ³] podle dnů v týdnu	33
Tabulka 13 – Koncentrace NO ₂ [μg/m ³] vzhledem ke směru větru	34
Tabulka 14 – Koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m ³] v závislosti na roku měření	37
Tabulka 15 – Koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m ³] podle dnů v týdnu.....	39
Tabulka 16 – Koncentrace benzo(a)pyrenu [ng/m ³] vzhledem ke směru větru	40
Tabulka 17 - Výsledky PCA za rok 2010.....	43
Tabulka 18 - Výsledky PCA za rok 2013.....	45
Tabulka 19 - Výsledky PCA za rok 2016.....	47

Seznam zkratek

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ZL – znečišťující látka

MSK – Moravskoslezský kraj

PCA - Principal Component Analysis

PMF - Positive Matrix Factorization

TP189 - technický předpis 189

AMO - ArcelorMittal Ostrava